

CBPAT 2026

7° CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

ANAIS

São Paulo, 24 a 27 de junho de 2026

ALCONPAT BRASIL

Associação Brasileira de Patologia das Construções

ALCONPAT BRASIL
Associação Brasileira de Patologia das Construções

ANAIS DO 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

CBPAT 2026

Organizadores
Alexandre Lorenzi
Camila Simonetti Caldieraro
Eder Carlos Salazar Sotto

Porto Alegre
ALCONPAT Brasil
2026

Copyright © 2026 ALCONPAT Brasil e os autores.

Esta obra é publicada sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0). É permitido copiar, distribuir e adaptar o conteúdo, desde que citada a fonte.

O conteúdo de cada capítulo, bem como a revisão linguística e as referências, é de inteira responsabilidade de seus autores.

Os capítulos deste livro correspondem aos trabalhos apresentados no 7º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções (CBPAT 2026), realizado de 24 a 27 de junho de 2026 na Universidade Presbiteriana Mackenzie, em São Paulo (SP), e publicados nos anais do evento (https://anais.cbpat.org.br, ISSN 2448-1459).

Editoração e projeto gráfico: Eder Carlos Salazar Sotto (STNT / OJSBR)

Capa: Eder Carlos Salazar Sotto (STNT / OJSBR), a partir da marca do CBPAT 2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

7º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções (06.: 2026 : São Paulo)
Anais do 7º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções [livro eletrônico] : CBPAT 2026 / organizadores Alexandre Lorenzi, Camila Simonetti Caldieraro. -- Porto Alegre, RS : Alconpat Brasil, 2026.
PDF

Bibliografia.
ISBN 978-85-63207-07-4

1. Engenharia civil (Estruturas)
2. Engenharia civil - Estudo e ensino
3. Infraestrutura 4. Materiais - Deterioração
I. Lorenzi, Alexandre. II. Caldieraro, Camila Simonetti. III. Título.

26-415826.0 CDD-624

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia civil 624

Suelen Silva Araújo Oliveira - Bibliotecária - CRB-8/11482

ISBN: 978-85-63207-07-4

DOI do livro: https://doi.org/10.67775/h851j279



APRESENTAÇÃO

É com satisfação que a ALCONPAT Brasil apresenta este livro, que reúne os trabalhos científicos do 7º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções (CBPAT 2026), realizado de 24 a 27 de junho de 2026, na Universidade Presbiteriana Mackenzie, em São Paulo (SP).

O CBPAT constitui o fórum técnico-científico bienal da ALCONPAT Brasil, dedicado à discussão e à disseminação do conhecimento nas áreas de estudo, prevenção, diagnóstico e tratamento das manifestações patológicas nas edificações e demais obras de engenharia. O congresso promove uma abordagem integrada entre controle de qualidade, patologia e reabilitação de sistemas, componentes e materiais, contribuindo para o avanço científico e tecnológico e para o aprimoramento das práticas de engenharia.

Esta edição reúne 108 capítulos, organizados em cinco partes, correspondentes aos eixos temáticos do congresso: Deterioração e Ensaios; Materiais; Infraestrutura e Projetos Complementares; Qualidade e Normatização; e Diagnóstico. Cada capítulo conta com um identificador DOI próprio, proporcionando maior visibilidade, rastreabilidade e facilidade de localização e citação dos trabalhos.

Agradecemos especialmente aos autores, aos revisores do Comitê Científico, às comissões organizadoras, aos patrocinadores e às instituições de apoio e fomento, cuja dedicação e colaboração foram fundamentais para a realização do congresso e a concretização desta publicação.

Esperamos que esta coletânea contribua para a disseminação do conhecimento, estimule novas pesquisas e fortaleça o intercâmbio de experiências entre pesquisadores, profissionais e estudantes, promovendo o desenvolvimento da Patologia das Construções no Brasil.

Desejamos a todos uma ótima leitura!

COMISSÕES

Comissão Organizadora

Dr. Alexandre Lorenzi (UFRGS)
Dr. Antonio Carmona Filho (Carmona Soluções de Engenharia)
Dr. Bernardo Fonseca Tutikian (Unisinos)
Dra. Camila Simonetti Caldieraro (UFRGS)
Dra. Daiana Cristina Metz Arnold (Feevale)
Dr. Enio Pazini Figueiredo (UFG)
M.Sc. Felipe Schneider (UNIVATES)
Dra. Fernanda Pacheco (Unisinos)
Dr. Hinoel Zamis Ehrenbring (Unisinos)
Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho (UFRGS)
Dr. Paulo Helene (PhD Engenharia)

Comissão Organizadora Local

Dr. Alfonso Pappalardo Jr. (Mackenzie)
M.Sc. Fabíola Rago Beltrame (Mackenzie)
Esp. Fernanda Moroni
Eng. Janderson Antunes Pinto
M.Sc Jéssica Andrade Dantas (IDD)
Esp. João Victor Martins
M.Sc. Kelly Ramos (Vistum Consultoria em Engenharia)
M.Sc. Lígia Vitória Real (Mackenzie)
Esp. Rafael Timerman (ENGETI Consultoria e Engenharia)
M.Sc. Tiago Garcia Carmona (Mackenzie)
M.Sc. Thomas Garcia Carmona (Carmona Soluções de Engenharia)

Comitê Científico

Dr. Alexandre Lorenzi (UFRGS)
Dr. Alfonso Pappalardo Jr. (Mackenzie)
Dra. Angela Gaio Graeff (UFRGS)
Dr. Arthur Medeiros (UTFPR)
Dra. Camila Simonetti Caldieraro (UFRGS)
Dra. Bárbara Jordani (UNIAVAN)
Dra. Daiana Cristina Metz Arnold (Feevale)
Dr. Daniel Tregnago Pagnussat (UFRGS)
Dr. Eduardo Polesello (Feevale)
M.Sc. Fabiola Rago Beltrame (Mackenzie)
M.Sc. Felipe Schneider (UNIVATES)
Dra. Fernanda Macedo Pereira
Dra. Fernanda Nepomuceno Costa (UFRB)
Dra. Fernanda Pacheco (Unisinos)
Dra. Geilma Vieira (UFES)
Dra. Giselle Reis Antunes (UFRGS)
Dra. Heloina Nogueira da Costa (UFC)
Dr. Hinoel Zamis Ehrenbring (Unisinos)
M.Sc. Hugo Springer Junior (Feevale)
M.Sc Jéssica Andrade Dantas (IDD)
Dra. Juliana Alves Lima Senisse Niemczewski (Feevale)
M.Sc. Julio Daudt (UNIFTEC)
M.Sc. Kelly Ramos (Vistum Consultoria em Engenharia)
Dr. João Luiz Calmon Nogueira da Gama (UFES)
Dr. Lucas Alexandre Reginato (UFRGS)
Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro (UFPA)
Dra. Luciani Lorenzi (UFRGS)
Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco (UFMG)
Dr. Marcelo Henrique Farias de Medeiros (UFPR)
M.Sc. Mario Guilge (Cimento Apodi)
Dra. Maristela Gomes da Silva (UFES)
Dr. Milton Paulino da Costa Junior (UFES)
Dr. Paulo Helene (PhD Engenharia)
Dr. Raduan Krauser (UNIR)
Esp. Rafael Timerman (ENGETI Consultoria e Engenharia)
Dr. Roberto Christ (Unisinos)
Dra. Rudiele Aparecida Schankoski (UFES)
Dr. Rogério Cattelan Antocheves de Lima (UFSM)
Dra. Ruane Fernandes de Magalhães (UFRGS)
M.Sc. Sandra Bertocini (UFMS)
Dra. Sayonara Maria de Moraes Pinheiro (UFES)
Dra. Sofia Araújo Lima Bessa (UFMG)
M.Sc. Thomas Garcia Carmona (Carmona Soluções de Engenharia)
Dra. Vanessa Pasa Dutra (UFRGS)
Dr. Vinicius de Kayser Ortolan (Feevale)

PATROCINADORES

OURO







PRATA















BRONZE























STANDARD









Fomento





APOIO INSTITUCIONAL

ASSOCIAÇÕES

UNIVERSIDADES

PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO

INSTITUTOS

Realização

SUMÁRIO

PARTE I · DETERIORAÇÃO E ENSAIOS 1

1. THERMOMECHANICAL RESPONSE OF RC BEAMS UNDER EV FIRE EXPOSURE: A NON-COUPLED CFD–FEA INVESTIGATION 2
Fabricio Bolina; Débora Bretas Silva; Eduardo Pachla

2. FIRE PERFORMANCE OF ADDITIVE-MODIFIED MORTARS FOR STEEL AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURE PROTECTIONS 14
Fabricio Bolina; Débora Bretas Silva; Arthur Staevie Henn

3. ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONCRETO APLICADO NA RETENÇÃO DE REJEITOS RADIOATIVOS 26
Isabella Gomes; Clédola Cássia de Tello; Jhenifer Souza

4. DURABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EXPOSTAS A AMBIENTES MARINHOS: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA 38
Maria Emilia da Silva Oliveira Araujo; Daniel Perin Lichy

5. EFEITOS DA CARBONATAÇÃO ACELERADA NO CIMENTO SUPERSULFATADO FORMULADO COM GIPSITA CALCINADA 49
Isabel Cristina Magro; Fernanda Frason Moreira; Caroline Angulski da Luz

6. PROJETO DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL COM PROTEÇÃO CATÓDICA EM PILARES DE UM SUBSOLO COM PRESENÇA DE LENÇOL FREÁTICO 61
Daniel de Britto; Gelson de Sousa Alves

7. CONSERVAÇÃO DE MARCOS HISTÓRICOS: INTERVENÇÕES PATOLÓGICAS EM FORROS DE MADEIRA E ROCHAS ORNAMENTAIS 75
Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça; Lívia Nayara Nóbrega de Melo; Thamires Dantas Guerra; João Pedro Silveira Salustiano; Valter Ferreira Neto; Maria Eduarda Velez Martins; Diego José Araújo Viegas; Loredanna Melyssa Costa; Fabiana Xavier Costa

8. AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: ESTUDO DE CASO DA CATEDRAL DE NOSSA SENHORA MÃE DA DIVINA GRAÇA 83
Maria Eduarda Velez Martins; Emmanuely Regina Araújo Diniz; Luanna Amado da Silva; Valter Ferreira Souza Neto; Luana Dantas de Medeiros; Chrysttyan Thales Ribeiro Félix; Diego José Araújo Viegas; Ana Maria Gonçalves Duarte; Fabiana Xavier Costa

9. AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE TANQUES FILTROS EM CONCRETO ARMADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM MANAUS-AM 95
Larissa Seixas; Lucas Gonçalves; Domingos Coelho; Bárbara Barboza; David Nunes

10. DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO SUBTERRÂNEA EXPOSTA A FERTILIZANTES E AGROTÓXICOS: ESTUDO DE CASO EM TANGARÁ DA SERRA - MT 108
Renata Rossi Carvalho de Oliveira; Yasmin Jorge Rodrigues; João Victor de Morais Pereira; Aguida Gomes de Abreu; Danielle Evangelista Vitalino Cardoso

11. AVALIAÇÃO TÉCNICA DO VIADUTO DA RUA VOLUNTÁRIOS DA PÁTRIA: APLICAÇÃO DA NBR 9452 EM INSPEÇÕES DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS 119
Luciani Somensi Lorenzi; Angelica Winter Rabaioli; Lucas Alexandre Reginato; Alexandre Lorenzi

12. PREVISÃO DE VIDA ÚTIL POR CARBONATAÇÃO EM ESTRUTURA EXISTENTE: COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE TUUTTI E POSSAN EM EDIFICAÇÃO DE 1973 EM PORTO ALEGRE-RS 131
Pedro Rafael Schirmer; Luciani Somensi Lorenzi; Lucas Alexandre Reginato; Alexandre Lorenzi

13. ESTUDO DO DESEMPENHO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM ADIÇÃO DE MATERIAIS POZOLÂNICOS SUBMETIDAS À CORROSÃO 143
Débora Pedroso Righi; Júlia Giordani Berton

14. ALTAS ESPESSURAS DE REVESTIMENTO EM ARGAMASSA E SEUS IMPACTOS NO DESEMPENHO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL: UM ESTUDO DE CASO 155
Juliana Dias; Yonh Lucca Santos

15. PROPOSIÇÃO DE MÉTODO PARA ENSAIO EM CAMPO DE ESTANQUEIDADE EM FACHADAS DE PAINÉIS DE CONCRETO PRÉ-FABRICADOS 167
Cristian Mateus Mossmann; Vinícius de Kayser Ortolan; Felipe Schneider; Bernardo Tutikian

16. COMPLEMENTAÇÃO DE DIAGNÓSTICO PÓS SINISTRO COM USO DE REALIDADE VIRTUAL 180

Felipe Petersen; Fernanda Pacheco; Sérgio Klippel Filho; Hinoel Zamis Ehrenbring

17. INTERVIR em ESTRUTURAS EXISTENTES: da ESCOLA à PRÁTICA 192
João Victor Martins; Thomaz Ripper

18. RETROFIT ESTRUTURAL SUSTENTÁVEL: CAMINHO PARA A DESCARBONIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL 206
Victor Hugo de Souza Rolo; Glauco José de Oliveira Rodrigues; Luiz Octavio de Souza Bueno de Oliveira; José Guilherme Santos da Silva

PARTE II · MATERIAIS 217

19. INFLUÊNCIA DO SILICATO DE ETILA EM BARRAS DE ARGAMASSA NA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-SÍLICA 218
Bárbara Rebonato Carrijo; Leticia Oliveira Almanso; Eloise Aparecida Langaro; Andressa Gobbi; Giovana Costa Réus

20. COMPARAÇÃO DE DUAS SOLUÇÕES PARA A RETIRADA DE UMA LINHA DE PILARES EM UMA INDÚSTRIA SEM SOBRECARREGAR FUNDAÇÕES EXISTENTES 227
Arthur Medeiros; Leonardo Covatti; Fabiana Völker Mademann; Rui Medeiros

21. ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DE PROTÓTIPOS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM BARRAS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO 236
Valeria Oliveira; Carlos Eduardo da Silva Monteiro Barbosa; Aramys Júlio da Silva Montenegro; Thaís Júlia Ribeiro Araújo; Franciele Rodrigues de Oliveira; Rodrigo César Pierozan

22. AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE SOLUÇÕES PARA A UNIÃO DE CONCRETOS COM IDADES DISTINTAS 249
Gabriela Dalfollo Brackmann; Lucas Zampieri; Daiane della Libera Leite; Thaís Karol Heck Schmitt; Rafaela Sebben Eckhardt; José Maria de Moura Júnior; Ângela Gaio Graeff; Denise Carpena Coitinho Dal Molin; João Ricardo Masuero

23. CRACK-BRIDGING ABILITY: ENERGIA ABSORVIDA COMO PARÂMETRO INTEGRADOR DE DESEMPENHO PARA MEMBRANAS 259
Francisco Rey Puente; Thiago Vallotti de Freitas

24. AVALIAÇÃO QUÍMICO-MINERALÓGICA E MICROESTRUTURAL DA ADIÇÃO DE SILICATO DE ETILA EM PASTAS DE CIMENTO 271
Adriana Fiori Moura; Eduardo Pereira; Eloise Aparecida Langaro; Maria Vitoria Pedroso; Matheus Villian Valenga

25. ANÁLISE MECÂNICA E FÍSICA DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO À INCORPORAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU 282
Maria Eduarda Velez Martins; Emmanuely Regina Araújo Diniz; Luanna Amado da Silva; Diego José Araújo Viegas; Luana Dantas Medeiros; Valter Ferreira Souza Neto; Chrysttyan Thales Ribeiro Félix; Ana Maria Gonçalves Duarte

26. EFEITOS COMPARATIVOS DA INCORPORAÇÃO DE SILICATO DE ETILA EM PASTAS E ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND 294
Adriana Fiori Moura; Maria Vitoria Pedroso; Eloise Aparecida Langaro; Eduardo Pereira

27. INTERAÇÃO ENTRE OS COMPOSTOS HIDRATADOS DA MATRIZ CIMENTÍCIA E TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE À BASE DE SILICATO DE ETILA 304
Adriana Fiori Moura; Tauana Andriele Cecchin Paza; Eloise Aparecida Langaro; Eduardo Pereira; Fernanda Brekailo

28. IDENTIFICAÇÃO DA COMPOSIÇÃO, RECONSTITUIÇÃO DE TRAÇO E CARACTERIZAÇÃO DE CAMADAS EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA EM EDIFÍCIOS HISTÓRICOS 316
Sthefanny Ferreira; Cintia Ferreira; Evandro da Silva; Luciana Queiroz

29. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMAS DE FACHADA DE ALVENARIA ESTRUTURAL: IMPACTO DO PROCESSO EXECUTIVO E DO CONTROLE DE QUALIDADE 328
Sérgio Augusto Andreolli Pohlmann; Alexandre Lorenzi; Luciani Somensi Lorenzi; Lucas Alexandre Reginato

30. ESTRATÉGIAS PARA ELIMINAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: ABORDAGEM PREVENTIVA A PARTIR DOS AGREGADOS MIÚDOS 341
Bernardo Beckenkamp Hansmann; Luciani Somensi Lorenzi; Lucas Alexandre Reginato; Alexandre Lorenzi

31. ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ARGAMASSA DE REPARO ESTRUTURAL EM EDIFÍCIO HOSPITALAR HISTÓRICO 352
Cintia Ferreira; Sthefanny Ferreira; Evandro Silva; Apolo Almeida; Luciana Queiroz

32. ESTUDO DO DESEMPENHO DE ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITES (ECC) COM CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO SOLUÇÃO DE RECAPEAMENTO DE PAVIMENTOS 364
Débora Pedroso Righi; Thiago Favarini Beltrame; Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

33. INFLUÊNCIA DA EXPOSIÇÃO AO AR E DA CURA IMERSA NA MICRODUREZA DO CIMENTO SUPERSULFATADO (CSS) SUBMETIDO À CARBONATAÇÃO NATURAL 376
Rafael Colla; Jeovana Thalheimer; Julia Kich de Ré; Caroline Angulski da Luz; Vitor Baldin; Maria Nalu Verona Gomes; Isabel Cristina Magro

34. A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL: CONSTRUÇÃO OFFSITE, BIM E SUSTENTABILIDADE NA OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS CONSTRUTIVOS 384
Gabriela Malerba

35. MEMBRANAS DE POLIURETANO COM DERIVADOS DE GRAFENO PARA IMPERMEABILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO 390
Julie Anne Braun dos Santos; Gerson Parreira; Camila Maroneze; Ricardo Jorge Espanhol Andrade

36. ESTUDO DA REOLOGIA E TRABALHABILIDADE DO ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITES (ECC) COM CINZA DE CASCA DE ARROZ 402
Débora Pedroso Righi; Thiago Favarini Beltrame; Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

37. DESEMPENHO DO CIMENTO PARA DIFERENTES LOTES NO FORNECIMENTO AO LONGO DE UM PERÍODO DE SEIS MESES 414
Diecson Ronei Meotti; Gustavo Alexandre Ferraz de Carvalho e Souza; Eduardo Polesello

38. INFLUÊNCIA DO ADITIVO REDUTOR DE PERMEABILIDADE E DA CURA NA ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS 427
Nei Misael Rosa Marques; Felipe Schneider; Bernardo Fonseca Tutikian

39. POTENCIAL DE FIBRAS NATURAIS COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE FIBRAS DE JUTA E SISAL 439
Priscila Grazielle Pinto de Azevedo; Vinicio Cecconello

40. INFLUÊNCIA DA MÉTRICA DE SIMILARIDADE NO DESEMPENHO DE REDES ARTMAP NA PREVISÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETOS DE ULTRA ALTO DESEMPENHO COM METACAULIM 452
Murilo Henrique Lima de Souza; Reginaldo José da Silva; Thays Aparecida de Abreu Santos; Mara Lúcia Martins Lopes

41. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS CONSTRUÇÕES EM RESIDÊNCIAS NA ENCHENTE NO RIO GRANDE DO SUL/RS E MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DAS MESMAS 464
Jordana Kaske da Silva

42. AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE PROPRIEDADES AUTOLIMPANTES EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO À BASE DE CIMENTO BRANCO COM INCORPORAÇÃO DE DIFERENTES ADITIVOS MINERAIS, ATRAVÉS DA DEGRADAÇÃO DE PIGMENTO 477
Leticia Lange; Kim Lisbôa Daudt Maus; Bruna Gabriela Schuster; Eduarda Rafaela Novello; Daiana Cristina Metz Arnold

43. INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO A/C NA CARBONATAÇÃO DO CIMENTO SUPERSULFATADO AVALIADA POR MICRODUREZA 489
Jeovana Thalheimer; Rafael Antonio Colla; Julia Kich de Ré; Vitor Baldin; Maria Nalu Verona Gomes; Caroline Angulski da Luz

44. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES IMPERMEABILIZANTES APLICADOS EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO 501
Milene Morschel; Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski; Felipe Schneider; Bernardo Tutikian

45. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TEORES DE ÓXIDO DE FERRO NAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA PIGMENTADA 513
Giulia Alves de Cesaro; Fernanda Pacheco; Fernanda Teixeira; Nicoli de Borba Muller; Roberto Christ; Sérgio Klippel Filho

46. PAINÉIS DE VEDAÇÃO FEITOS DE BAMBU: Ensaios de durabilidade dos bambus inseridos em matriz cimentícia 525
Anelizabete Alves Teixeira Pazini; Enio José Pazini Figueiredo; Jaime Gonçalves de Almeida

PARTE III · INFRAESTRUTURA E PROJETOS COMPLEMENTARES 540

47. PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS NO PROCESSO DE GESTÃO DAS INFORMAÇÕES DE MANUTENÇÃO DA INFRAESTRUTURA PREDIAL DAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR 541
Maico Rodrigo Silva dos Santos; Daniel Mânica; Marcos Roberto da Silva

48. AVALIAÇÃO DO RISCO ESTRUTURAL EM PONTES DE CONCRETO BRASILEIRAS: INFLUÊNCIA DA IDADE E DAS DEFICIÊNCIAS NO SISTEMA DE INSPEÇÃO 553
Pedro Matiazzi da Silva; Gilmar Andretta Filho

49. REFORÇO DOS PENDURAIS DA PONTE EURICO GASPAR DUTRA/RJ COM O USO DE BARRAS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRAS 568
Luiz Antonio Vieira Carneiro; Mayra Soares Pereira Lima Perlingeiro; Marco Aurélio Chaves Ferro

50. IMPERMEABILIZAÇÃO EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS NO BRASIL: ESTADO DA ARTE, FALHAS RECORRENTES E DIRETRIZES DE PROJETO 580
André Fornasaro; Julie Anne Braun dos Santos

51. CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA ESPECIFICAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE PISO EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES 592
Valeria Oliveira; Ana Beatriz da Silva; José Wyslan Lima; Kaylane Souza; Leticia Toaldo dos Santos; Lézia Maria Lima; Lorena Gonçalves Félix Quintela

52. AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA INCORPORAÇÃO DE ZnO E TiO₂ NA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE EM ARGAMASSA DE CIMENTO BRANCO 604
Ramon Mendonça Teles; Eduarda Novello; Bruna Gabriela Schuster; Kim Lisbôa Daudt Maus; Leticia Lange; Alexandre Silva de Vargas; Daiana Cristina Metz Arnold

PARTE IV · QUALIDADE E NORMATIZAÇÃO 613

53. ANALISE FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS UTILIZADAS PARA O AMASSAMENTO DO CONCRETO DAS OBRAS PÚBLICAS DO ESTADO DA PARAÍBA 614
Lívia Nayara Nóbrega de Melo; Edmilson Dantas da Silva Filho; Elnatan Lins da Costa; Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

54. ANÁLISE DO ATENDIMENTO À NBR 15575 NO SISTEMA DE PISOS: ESTUDO DE CASO EM UMA CONSTRUTORA 625
Milton Paulino da Costa Junior; Juliani Giori da Silva; Sayonara Maria de Moraes Pinheiro

55. ANÁLISE DO DESLOCAMENTO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS DE EDIFICAÇÕES DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS: AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA CONJUNTA DA EXPANSÃO POR UMIDADE DA CERÂMICA (EPU) E DA QUALIDADE DA ARGAMASSA COLANTE (ACIII) NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA ÀTRAÇÃO 641
Eduardo da Silva Wintz; Pedro Matiazzi da Silva; Bruna Corsini da Silva; Ingrid Ferreira da Silva

56. EDUCAÇÃO E ENSINO DA PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES NA FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO CIVIL 649
Karine Marques Salvioni

57. ANÁLISE DE IMPACTOS DE REFORMAS EM EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO DO FECHAMENTO DE VARANDAS EM VIDRO COM BASE NA NBR 16280 658
Marcus Grossi

58. MAPEAMENTO E ANÁLISE COMPARATIVA DE IRREGULARIDADES TÉCNICAS EM OBRAS RESIDENCIAIS MULTIFAMILIARES 669
Ana Lívia Lima Brasil; Carla Souza Calheiros; Valdete dos Santos de Araújo

59. ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE ÂNODOS DE SACRIFÍCIO GALVÂNICOS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO 681
Thales Agostinho de Andrade; Hamilton Soares; Thomas Carmona; Tiago Carmona; Antonio Carmona

60. ESTIMATIVA DE CUSTOS DE MANUTENÇÕES PREVENTIVAS, NOS PRIMEIROS CINCO ANOS DE EDIFICAÇÕES TÉRREAS UNIFAMILIARES 692
Fábio Júnior de Melo Gafski; Fernanda Pacheco; Sérgio Klippel Filho; Roberto Christ

61. A FALTA DE MEDIDAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO COMO PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES: FUNDAMENTOS, EVIDÊNCIAS E PROPOSTAS PARA O APRIMORAMENTO DA CULTURA DE SEGURANÇA NO BRASIL 701
Ronaldo Ribeiro

PARTE V · DIAGNÓSTICO 713

62. PATOLOGIAS POR UMIDADES EM EDIFICAÇÕES: CAUSAS,MECANISMOS E IMPACTOS NO DESEMPENHO CONSTRUTIVO 714
Carlos Roberto Godoi Cintra

63. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTOS DE TRANSIÇÃO DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO: UMA REVISÃO ANALÍTICA 724
Carlos Roberto Godoi Cintra

64. INFLUÊNCIA DA FISSURAÇÃO PRECOCE NA VIDA ÚTIL DE UMA PONTE DE ACESSO EM CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARINHO: ESTUDO DE CASO....736
Markus Moratti; Augusto Mamede; Vagner Pontes

65. MAPEAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÃO HISTÓRICA: ESTUDO DE CASO DA IGREJA NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO, VILA VELHA/ES....748
Otávia Pergentino; Geraldo Barreto

66. QUANTIFICAÇÃO DE DESPLACAMENTO CERÂMICO EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS....760
Alcineide Dutra Pessoa de Sousa; Gean Lopes de Sousa; Luiz Furtado Maués

67. AVALIAÇÃO DE FALHAS EM REVESTIMENTO CERÂMICO DE FACHADA E SEUS IMPACTOS EM AMBIENTES INTERNOS: ESTUDO DE CASO....771
Adriana Silveira; Miriam de Moura Rotilli; Natália Brugnera

68. INSPEÇÃO DE FACHADAS COM VANT: EFICÁCIA NA IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UM ESTUDO DE CASO....783
Leonardo Costa Ramos; Júlia Cordeiro Vieira; Murillo Henrique Ferreira; Carolina Vieira de Andrade

69. INSPEÇÃO PREDIAL EM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL CONFORME A ABNT NBR 16747:2020: ESTUDO DE CASO....795
Diane Lourdes de Assis Teixeira; Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco; Antônio Neves de Carvalho Júnior; Heron Freitas Resende

70. ANÁLISE DE INCONFORMIDADES TÉCNICAS PARA RECEBIMENTO DE EMPREENDIMENTO NOVO: ESTUDO DE CASO EM FORTALEZA-CE....807
Allefy Teles Sampaio; Everson Albuquerque; Jair Velozo; Willames de Albuquerque; Eliana Barreto

71. ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E REQUISITOS DE DESEMPENHO EM UNIDADE HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO DE CASO....814
Maria Eduarda Dembogurski; Daniel Thomaz Farina; José Maria de Moura Júnior; Angela Borges Masuero; Denise Carpena Coitinho Dal Molin

72. ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE UMA EDIFICAÇÃO ORIGINALMENTE RESIDENCIAL....825
Maria Eduarda Dembogurski; Daniel Thomaz Farina; José Maria de Moura Júnior; Angela Borges Masuero; Denise Carpena Coitinho Dal Molin

73. INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS NO TEATRO MUNICIPAL "TEOTÔNIO VILELA" EM SOROCABA/SP: ESTUDO DE CASO....837
Vívian Cristina de Jesus Santos Perin; José Almeida

74. MÚLTIPLA CAUSALIDADE EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO: APLICAÇÃO DE MODELO INFERENCIAL EM ESTUDO DE CASO....849
Lorena Kihara; Vitor Hugo Astun Dionísio; Helena de Souza Santos

75. ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL....858
Felipe Dhante Cirqueira de Faria; Lázaro Lourenço Neto; Karla Cristina Bentes Moreira

76. ANÁLISE TÉCNICA DE REVESTIMENTO EM UBS....869
Rhuan Lopes Corrêa; Vitoria Lopes Saturnino; Karla Cristina Bentes Moreira

77. APLICAÇÃO DO MÉTODO HIPOTÉTICO-DEDUTIVO NO DIAGNÓSTICO PERICIAL DE INFILTRAÇÃO EM FACHADA: ESTUDO DE CASO....882
Marcus Grossi

78. OCORRÊNCIA CONCOMITANTE DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO E ATAQUE INTERNO POR SULFATOS EM BLOCO DE FUNDAÇÃO DE EDIFÍCIO....894
João Ricardo Pereira da Silva

79. INCONFORMIDADES NA EXECUÇÃO DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE LAJE DE COBERTURA DE CONDOMÍNIO RESIDENCIAL EM FORTALEZA/CE....906
Allefy Teles Sampaio; Everson Albuquerque; Jair Velozo; Willames de Albuquerque; Eliana Barreto

80. AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA E DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES AFETADAS POR INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO....913
Andresa Sonda; Felipe Schneider; Bernardo Tutikian

81. ANÁLISE EXPERIMENTAL DA FIXAÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO ARMADO COM INSERTOS METÁLICOS SOB AÇÃO DE COMPRESSÃO....926
Luciani Somensi Lorenzi; Alexandre Lorenzi; Dario Lauro Klein

82. ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ASSOCIADAS A UMIDADE EM RESIDÊNCIAS DE LIGHT STEEL FRAME – LSF....936

Mathias Herzer; Gustavo Alexandre Ferraz de Carvalho e Souza; Eduardo Polesello

83. GESTÃO DE RISCOS E IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS CONSTRUTIVAS EM EDIFÍCIOS HISTÓRICOS QUE ABRIGAM MUSEUS: CONTRIBUIÇÕES DO MÉTODO ABC....950
Eliza Hasselmann; Marcus Granato

84. FISSURAS EM VÃOS DE ESQUADRIAS: ESTUDO EM EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES NO MUNICÍPIO DE CRICIÚMA/SC 962
Gislaine Andrade Lima Demétrio; Diego Haltiery dos Santos; Anderson Augusto Müller; Felipe Trez Rodrigues; João Paulo Mendes

85. IDENTIFICAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS PRÉDIOS DO CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS DA UFSM....974
Maico Rodrigo Silva dos Santos; Daniel Mânica; Marcos Roberto da Silva

86. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ASSOCIADAS À UMIDADE EM EDIFICAÇÃO PÚBLICA SOB A ÓTICA DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA 984
João Pedro Figueiró D´ornellas

87. ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE MURO DE ARRIMO....997
Talles Teylor dos Santos Mello; Erika Hikari Tago; Gusttavo Moreira de Araújo

88. PROSPECÇÃO CIENTÍFICA DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA APLICADA AO CONCRETO ARMADO UTILIZANDO UMA TAXONOMIA MULTIFACETADA....1007
Francisco Lopes; Fernando do Couto Rosa Almeida

89. FORMAÇÃO DE SISTEMA INTERLAMINAR ATIVO EM LAJES DE GARAGEM APÓS INTERVENÇÃO CORRETIVA INADEQUADA: ESTUDO DE CASO EM EDIFÍCIO RESIDENCIAL 1019
Jordana Paes Epifânio

90. INVESTIGAÇÃO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE UMA PONTE DE 20 M NO POVOADO SANTO AMARO, CAXIAS–MA....1028
Paulo Ricardo Alves dos Reis dos Santos; Heveraldo Serra

91. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ALVENARIA E REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS: ANÁLISE PRELIMINAR DE UM ESTUDO DE CASO EM UMA EDIFICAÇÃO PÚBLICA NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA–PA 1041
Kercia Marcely Cardoso Dias; Lucielly Olavo da Costa; Ellen Taís da Silva Pinheiro; José Renato Lima Aguiar; Jonas dos Santos Leite; Matheus Viana de Souza

92. ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS: ESTUDO DE CASO EM VIAS URBANAS DE ITAITUBA-PA....1056
Kercia Marcely Cardoso Dias; Lucielly Olavo da Costa; Ellen Taís da Silva Pinheiro; Matheus Viana de Souza; Marcela Santos da Silva

93. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS: ESTUDO DE CASO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO....1071
Ellen Taís da Silva Pinheiro; Kercia Marcely Cardoso Dias; Lucielly Olavo da Costa; Ana Laura Batista Alvarenga; Jedson Henryque Corrêa Abrantes; Matheus Viana de Souza

94. ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA PONTE NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA-PA 1082
Lucielly Olavo da Costa; Ellen Taís da Silva Pinheiro; Kercia Marcely Cardoso Dias; Ana Laura Batista Alvarenga; Wesley Aguiar Pinto; Matheus Viana de Souza

95. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO EM PISOS INDUSTRIAIS....1093
Higor Martins do Valle; Patrícia Schmid Calvão; Renata Monte

96. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA....1106
Pedro Henrique Cota Drumond; Leonardo Maroca de Avelar Viana; Camila Spagnol Altoé; João Vitor Fioresi Altoé; Klaus Hubert Alves Rodrigues; Diogo Silva de Oliveira; Reginaldo Carneiro da Silva

97. APLICAÇÃO DA MATRIZ GUT NA PRIORIZAÇÃO DE DANOS EM PONTE DE CONCRETO: ESTUDO DE CASO DA PONTE GREGÓRIO BEZERRA – RECIFE/PE....1118
Hortência Rodrigues da Silva; José Victor Pereira dos Santos; Marcos Mendonça Barbosa; Valdemir Nery de Santana Júnior; Felipe Mendes da Cruz; Eliana Cristina Barreto Monteiro

98. MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DE DANOS E FORMULAÇÃO DE DIRETRIZES TÉCNICAS DE RESTAURO EM IMÓVEL ESPECIAL DE PRESERVAÇÃO: ESTUDO DE CASO NO RECIFE 1127
Rômulo Pereira; Allefy Sampaio; Everson Albuquerque; Eliana Barreto; Willames Soares

99. DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES 1139
Renata de Oliveira Marinho; Paulo Lucas da Cruz Silva; Laryssa de Sousa Carneiro Nino; Rozilda Silva Cardoso; Otávio Alexandre de Araújo

100. ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO EM LAJE DE COBERTURA: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL VERTICAL 1151
Adriana Silveira; Natália Brugnera; Miriam de Moura Rotilli

101. PLANO DIRETOR DE MANUTENÇÃO EM ESTRUTURAS PORTUÁRIAS: DIAGNÓSTICO, MODELAGEM DE DURABILIDADE E ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO 1164
Marcela Barros de Souza Sollero; Rodrigo Tadeu dos Santos; Manoel Messias de Freitas Filho; Marcio Bandeira de Oliveira

102. DURABILIDADE E MANUTENÇÃO DE ESTRUTURAS PORTUÁRIAS DE DIFERENTES GERAÇÕES: DIAGNÓSTICO, APRENDIZADO TÉCNICO E PLANO DE MANUTENÇÃO NO COMPLEXO DE SUAPE 1177
Marcela Barros de Souza Sollero; Rodrigo Tadeu dos Santos; Glauber Beirão de Souza

103. AVANÇOS NO DIAGNÓSTICO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: REVISÃO DA LITERATURA 1191
Diogo Britto; Nicole Nascimento; Camila Silva; Hildo Santiago Filho; Marcelo Medeiros; Antônio Acácio de Melo Neto

104. FISSURAS POR RETRAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO 1200
Esther Mignoni; Francieli Tiecher

105. ENGENHARIA DIAGNÓSTICA APLICADA A RESERVATÓRIO DE ÁGUA ELEVADO: APLICAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO PARA INSPEÇÃO DO REL INDAIÁ 1212
Everton Gabriel Medeiros da Silva; Aristóteles Vinicius Souza de Andrade; Alberto Casado Lordsleem Júnior

106. DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DE FACHADAS ARGAMASSADAS COM REDUÇÃO DE ADERÊNCIA: PROTOCOLO MULTIENSAIO INTEGRADO COMO FUNDAMENTO TÉCNICO PARA TOMADA DE DECISÃO EM RETROFIT 1224
Vitor Hugo Astun Dionisio; Lorena Mizue Kihara; Paulo Sérgio da Silva; Berenice Martins Toralles

107. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: ESTUDO DE CASO NO CENTRO CULTURAL DE CAMBÉ/PR 1237
Vitor Hugo Astun Dionisio; Hugo Gabriel Fernandes Viotto; Humberto Vicentin Neto; Marcos Vinícius Domingos Benetatti; Berenice Martins Toralles; Francisco Morato Leite

108. PROPOSTA DE FICHA PADRONIZADA PARA INSPEÇÃO PRELIMINAR DE ESTRUTURAS DE CONCRETO EM ETEs 1249
João Eliton Santos de Mesquita; Mayssa Alves da Silva; Marco Aurélio Ayres Diniz; Tadeu Fernando Porto de Carvalho; Airton Egydio Petinelli; Enio Pazini Figueiredo

ÍNDICE DE AUTORES 1261

ÍNDICE DE PALAVRAS-CHAVE 1264

PARTE I

DETERIORAÇÃO E ENSAIOS

18 capítulos

CAPÍTULO 1 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/cqfa8z25
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/w9wx9e86

Thermomechanical Response of RC Beams under EV Fire Exposure: A Non-Coupled CFD–FEA Investigation

Fabricio L. Bolina[1]*, Débora B. Silva [2]; Eduardo C. Pachla[3]
*Autor de contato: fabriciobolina@gmail.com

[1] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil
[2] Departamento de Arquitetura, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
[3] Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

ABSTRACT

This study evaluates the thermomechanical response of reinforced concrete (RC) beams subjected to Electric Vehicles (EV) fire scenarios, which impose more severe thermal loads than the ISO 834 curve adopted in EN 1992-1-2. A coupled thermal–mechanical finite element analysis (FEA) was conducted on nine beams, varying reinforcement layout, diameter, and concrete cover thickness. Compared with code-based predictions, EV fires reduced fire resistance by up to 27% within 60 min. Increasing concrete cover (≥30 mm) and using multiple reinforcement layers improved performance by limiting steel stresses. Results suggest current provisions may underestimate EV fire, indicating the need to update fire resistance criteria and detailing rules for RC structures.
Palavras-chave: beam; reinforced concrete; structures in fire; electric vehicles.

RESUMO

Este estudo avaliou a resposta termomecânica de vigas de concreto armado submetidas a cenários de incêndio envolvendo veículos elétricos (VE), os quais impuseram solicitações térmicas mais severas do que a curva ISO 834 adotada na EN 1992-1-2. Foi realizada uma análise numérica termomecânica por elementos finitos em nove vigas, variando-se o arranjo das armaduras, o diâmetro das armaduras e a espessura do cobrimento destas. Em comparação com as previsões baseadas em normas, os incêndios de VE reduziram o tempo de resistência ao fogo em até 27% nos primeiros 60 min. O aumento do cobrimento (≥ 30 mm) e a adoção de múltiplas camadas de armadura melhoraram o desempenho, ao limitar os níveis de tensão no aço. Os resultados indicam que as normas atuais podem subestimar as demandas impostas por incêndios de VE, evidenciando a necessidade de revisão dos critérios de resistência ao fogo e das regras de detalhamento para estruturas de concreto armado.
Keywords: vigas; concreto armado; estruturas ao incêndio; veículos elétricos.

1. INTRODUCTION

O Climate change and interest to reduce the total CO_2 emissions have driven demand for cleaner technologies, making electric vehicles (EVs) a key part of sustainable mobility. In 2023, EVs accounted for 18% of global vehicle sales (up from 14% in 2022 and just 2% in 2018) with over 14 million units sold, 3.5 million more than the previous year. Weekly registrations peaked at 250,000, surpassing the total sales recorded in 2013. (IEA, 2024). This rapid increase is driven by the application of lithium-ion batteries (LIBs) (Wu *et al.*, 2018).

EV fires present distinct hazards: high heat release, toxic gas emission (e.g., HF), explosion risk, re-ignition potential, and prolonged, water-intensive suppression. These risks are amplified in confined spaces, posing significant challenges to fire safety engineering and EV deployment. (Funk *et al.*, 2023; Internal Association of Fire, 2022; Mier *et al.*, 2017; Sturm *et al.*, 2022).

Thermal runaway in LIB batteries can be triggered by improper use, abusive conditions such as overheating, overcharging, short circuits, or mechanical impact (Sun *et al.*, 2020), or exposure to extreme factors. These events initiate exothermic reactions that release heat, flammable gases, and toxic byproducts, potentially resulting in fires or explosions (Li *et al.*, 2019; Peng *et al.*, 2020). EV fires have also occurred during stationary charging. As a result, EV fires in enclosed spaces pose heightened risks to RC structures due to limited ventilation and restricted firefighting access (Funk *et al.*, 2023).

Kang et al. (Kang *et al.*, 2023) conducted large-scale LIB fire tests, showing that EV fires can last up to 70 min and exceed the thermal severity of the ISO 834 adopted in EN 1992-1-2. Structural behavior was not assessed, reinforcing the need to evaluate EV fire effects on structural integrity. The studies in enclosed environments (Kang *et al.*, 2023; Sturm *et al.*, 2020, 2022), primarily assess thermal parameters and toxic gas emissions. However, focus solely on fire dynamics and neglect the compartment temperature development and its structural implications. No study evaluates the structural performance of RC elements exposed to EV fire. This gap underscores the novelty of the present study, which addresses the structural response of RC members under EV fire.

Sturm et al. (Sturm *et al.*, 2022) performed full-scale EV fire tests in a road tunnel. EVs showed higher heat release rates, and hydrogen fluoride was identified as a critical byproduct. Although different firefighting methods were evaluated, the study did not assess structural temperatures or fire impact on structural performance: an aspect addressed in the present research.

Funk et al. (Funk *et al.*, 2023) conducted nine EV fire tests in an open-sided enclosure, recording gas and ceiling temperatures up to 1000 °C and fire spread to adjacent vehicles within 3–46 min. Although no structural analysis of RC elements was performed, the results indicated significant risks to structural integrity, reinforcing the need for research on RC performance under EV fire.

Fires in residential buildings cause significant fatalities, damage, and economic losses (Bolina *et al.*, 2020; Dundar and Selamet, 2023), with high-rises especially vulnerable due to their complexity and evacuation challenges. However, EV fires raise additional concerns. Elevated temperatures degrade concrete and steel, risking structural failure and collapse. Current RC design standards, such as EN 1992-1-2 (EN 1992-1.2, 2004) and NBR 15200 (NBR 15200, 2024), rely on ISO 834 (ISO 834, 1999) but EV fires can exceed this severity, leaving the adequacy of existing codes for EV fire scenarios unverified.

This study addresses a key gap in structural fire safety related to sustainability. EV fires may exceed ISO 834 temperatures within 45–60 min, challenging the assumptions of EN 1992-1-2. As RC degradation is temperature-dependent, it is crucial to verify whether code-designed elements maintain adequate safety under these intensified thermal demands, particularly in basements, where beams are exposed on three sides and EV parking increases the risk of fire-induced damage, progressive collapse, and reduced structural resilience.

Three RC beams with equal flexural capacity at ambient temperature but different reinforcement layouts and rebar diameters were modeled. Coupled thermomechanical FEA was performed under ISO 834 and EV curves, with beams loaded to 70% of their room-temperature ultimate capacity. As all met the 60-min criterion, six additional beams representing critical conditions (reduced cover, lower reinforcement, higher load levels) were analyzed, totaling nine cases. The objective is to verify whether EN 1992-1-2 provisions adequately ensure RC performance under EV fires or require revision for this intensified hazard.

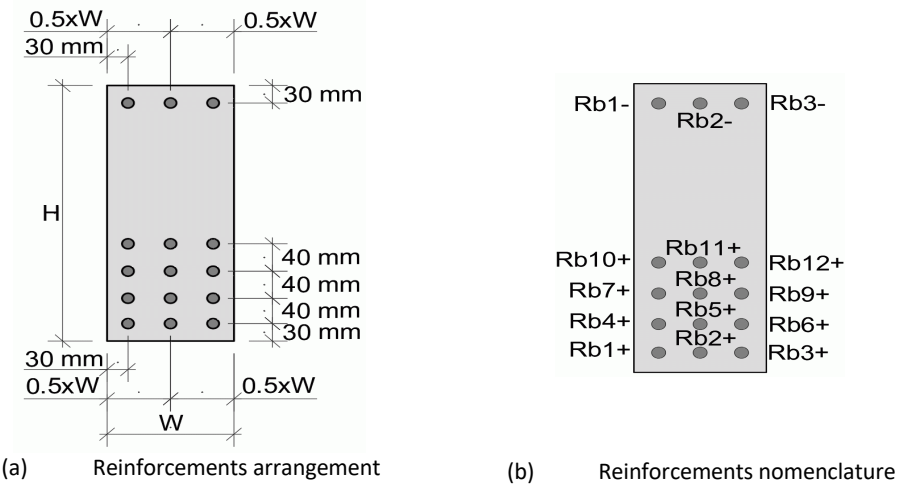
2. METHODS

The study was conducted in three stages: (i) development of RC beam models with identical cross-sections but varying reinforcement layouts, rebar diameters, and concrete cover thickness- ensuring equivalent ultimate capacity while also simulating critical conditions (e.g., low reinforcement ratios and reduced cover typical of older, noncompliant structures); (ii) thermal FEA to obtain cross-sectional temperature fields under ISO 834 and an EV-specific fire curve derived from CFD and experimental data; and (iii) coupled thermomechanical FEA applying these temperature fields to beams subjected to 70% of their ultimate load or to critical load levels, enabling comparison of ISO and EV fire impacts in terms of reinforcement yielding, stiffness degradation, and deflection.

2.1 Beam cases

The beam cross-sectional geometry and corresponding reinforcement layout are shown in Figure 1. All models share a width (W) of 200 mm and a total height (H) of 600 mm, with 6,000 mm in span. The reinforcement layouts, concrete cover values, and the conventions are shown in Table 1.

Figure 1 – Steel reinforcement distributed across the beam cross section



(a) Reinforcements arrangement (b) Reinforcements nomenclature

Table 1 – Beam cases based on reinforcement diameter and cross-sectional reinforcement layout

RC beams naming convention	Reinforcements (steel rebars)															
	Tensile (positive)												Compressive (negative)			Concrete cover (mm)
	Rb1+	Rb2+	Rb3+	Rb4+	Rb5+	Rb6+	Rb7+	Rb8+	Rb9+	Rb10+	Rb11+	Rb12+	Rb1-	Rb2-	Rb3-	
Condition 1: with mechanical equivalence (real load condition)																
B1-D10-C20	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	20
B2-D12-C20	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	—	—	—	—	—	10.0	10.0	10.0	20
B3-D16-C20	16.0	16.0	16.0	16.0	—	16.0	—	—	—	—	—	—	10.0	10.0	10.0	20
Condition 2: with no mechanical equivalence (critical load condition with low reinforcement ratio)																
B4-D8-C20	8.0	8.0	8.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.0	—	8.0	20
B5-D8-C20	8.0	—	8.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.0	—	8.0	20
B6-D10-C20	10.0	—	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.0	—	10.0	20
Condition 3: with no mechanical equivalence (critical load condition with different concrete cover thickness)																
B7-D10-C10	10.0	—	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.0	—	10.0	10
B8-D10-C15	10.0	—	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.0	—	10.0	15
B9-D10-C30	10.0	—	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.0	—	10.0	30

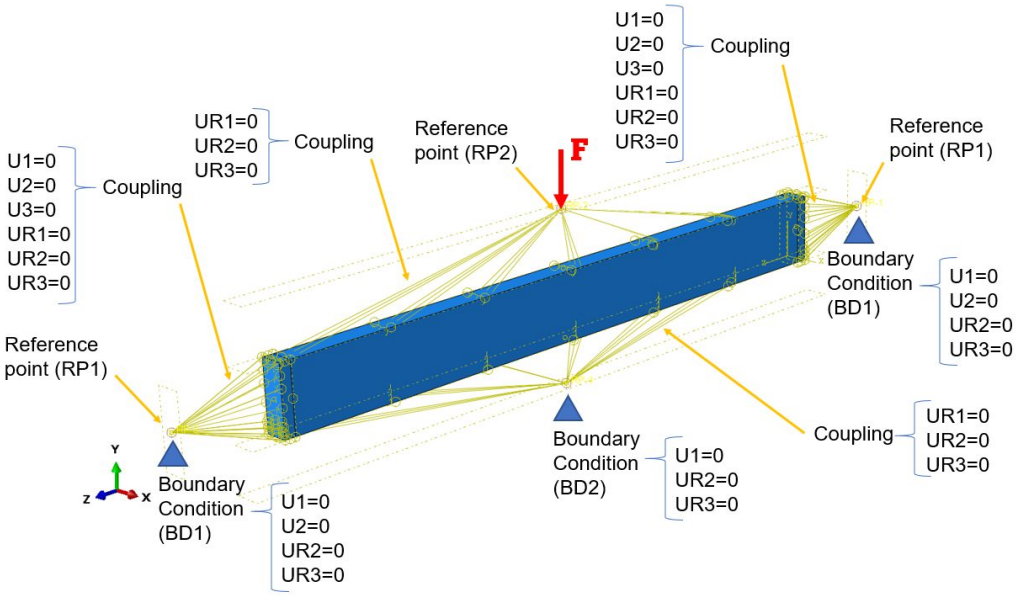
The RC beams have 30 mm vertical and 70 mm horizontal spacing between reinforcement layers. In Condition 1, specimens B1 (Ø10), B2 (Ø12.5), and B3 (Ø16) use 20 mm concrete cover and 500 MPa steel, with equivalent bending capacity but different reinforcement layouts—B3 reflecting typical code-compliant detailing, and B1–B2 using more rebars of smaller diameter to achieve the same strength. As 60 minutes of fire resistance is generally acceptable, two additional non-standard scenarios were examined: Condition 2 includes beams with a reduced number of longitudinal rebars in a single layer (Ø8 and Ø10), simulating older (non-standardized) structures; Condition 3 adds reduced concrete cover (10–15 mm) to represent deficient fire and durability design, with one high-cover beam (30 mm) as reference.

2.2 FEA model

a) Mechanical

The RC beam was modeled using nonlinear FEA (Figure 2). Concrete was represented by 3D solid elements and longitudinal reinforcement by truss elements, assuming perfect bond via embedded constraints to ensure full strain compatibility. Nodes included three translational and three rotational degrees of freedom, enabling bending and torsion simulation. A mesh sensitivity analysis (5–30 mm) showed that sizes finer than 20 mm yielded negligible differences in global response, while coarser meshes affected peak load; thus, a 10 mm mesh was adopted.

Figure 2 – Mechanical FE model of RC beams at ambient temperature

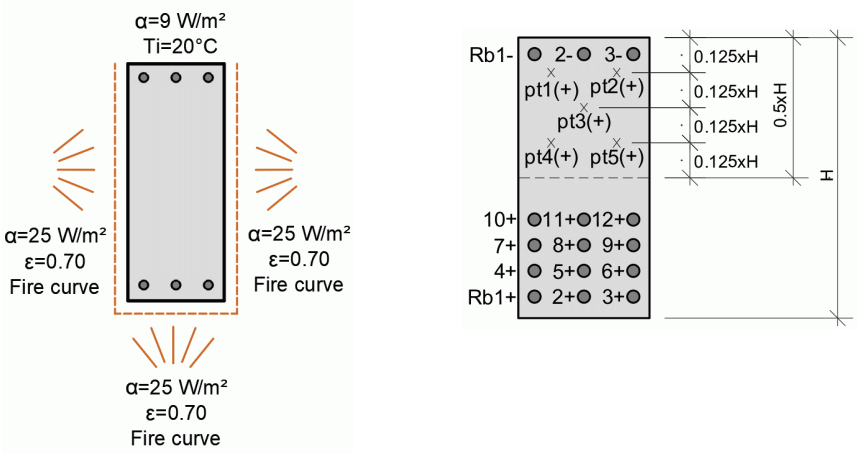


The ultimate bending capacity was obtained by applying a time-dependent load equal to F=100.t (N), where "t" is time in s, uniformly distributed on the beam's top surface via a coupling constraint to ensure consistent force transfer. Concrete behavior was modeled using the Concrete Damage Plasticity Model (CDPM) parameters: see the CDPM parameters in (Bolina, 2025).

b) Thermal

The termal FEA model and selected control points (Figure 3) capture temperature evolution in the compressed concrete zone and at reinforcement levels (pt1+ to pt5+); although all rebar layers are illustrated, not all configurations include multiple layers.

Figure 3 – Fire-exposed sides and control points in the beam cross-section



(a) Sides exposed to fire (b) Control points (temperature)

A FEA thermal analysis was performed to determine the time-dependent temperature fields across the beam cross-section under two fire scenarios: ISO 834 and an EV fire. Temperature-dependent thermal properties of concrete and steel were defined according to EN 1992-1-2.

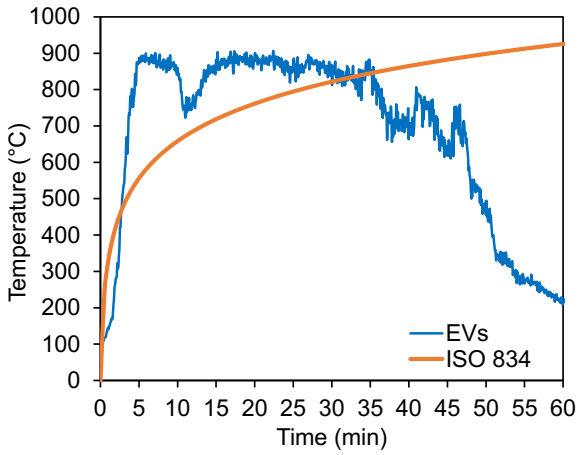
c) Thermo-Mechanical

Cross-sectional temperature fields from the thermal analysis were applied to the mechanical model to account for temperature-induced material degradation, with strength and stiffness reductions defined by EN 1992-1-2 (concrete) and EN 1993-1-2 (steel). The coupled thermomechanical approach enables direct comparison of ISO 834 and EV fire, particularly on bending capacity, using consistent stress and deflection control parameters throughout the simulations.

2.3 CFD model

The standardized fire defined by (ISO 834, 1999) is widely recognized and adopted by EN 1992-1-2 (EN 1992-1.2, 2004). In contrast, the EV fire used in this study was previously developed and published by the authors: see (Bolina *et al.*, 2025). The EV fire curve was established using a computational fluid dynamics (CFD) model, which incorporated heat release parameters obtained from experimental studies available in the literature (Kang *et al.*, 2023). The CFD model was validated by full-scale experimental data also extracted from published research (K. Sharma *et al.*, 2021; McGrattan, 2006). The resulting EV fire is shown in Figure 4.

Figure 4 – Standardized fire curve versus the EV fire curve

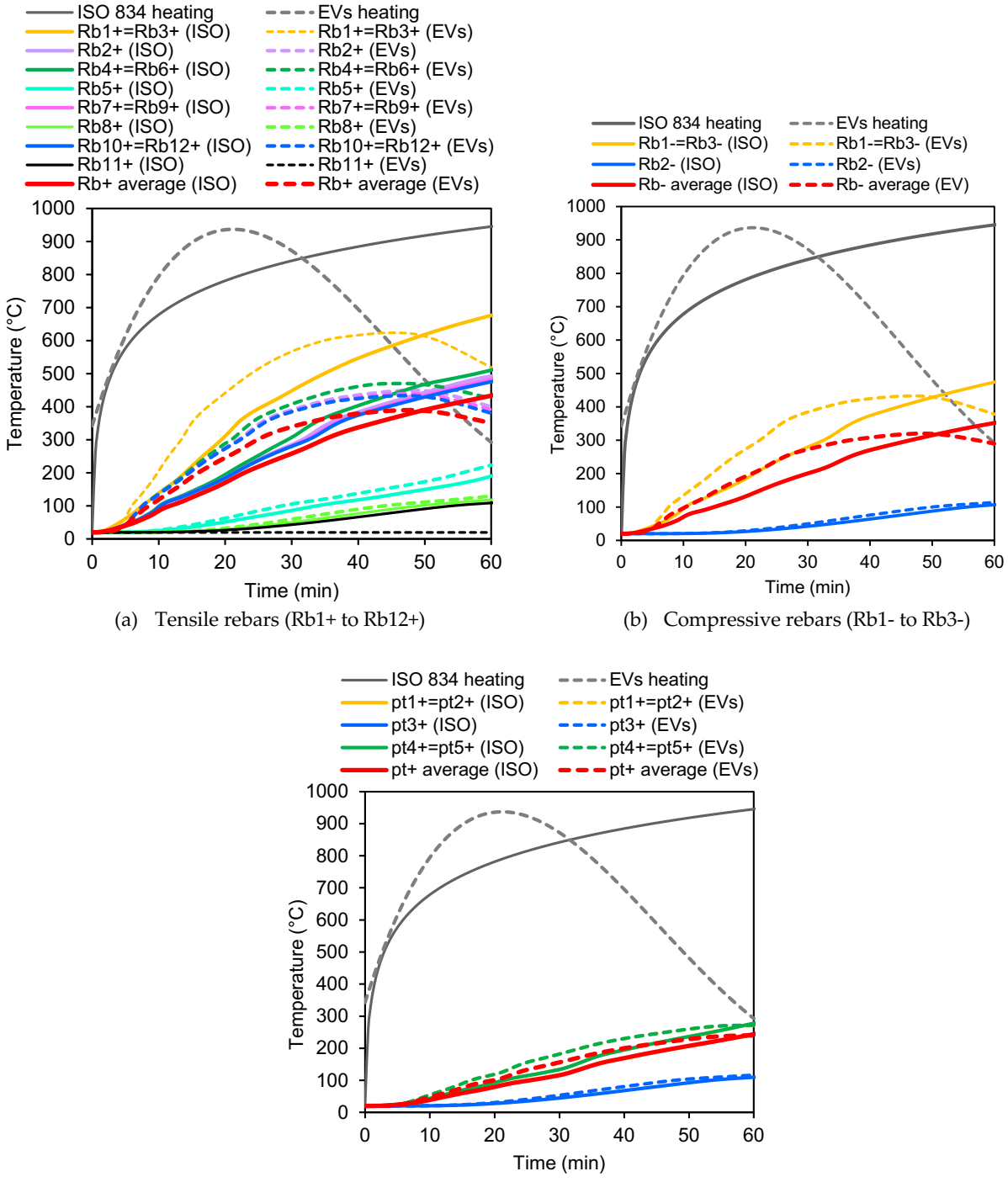


Between 3 and 35 min, EV fire temperatures markedly exceed the ISO 834 curve, highlighting the need to reassess RC fire performance under more severe early-stage heating. The EV curve used herein was previously developed by the authors from CFD simulations calibrated with full-scale EV fire tests and literature data. It represents a single-vehicle fire in a confined, low-ventilation environment (e.g., underground parking), with rapid heating to peak gas temperatures above 1100–1200 °C within 15–25 minutes, followed by decay.

3. RESULTS

Figure 5 describes the temperature evolution in the reinforcement, as well as in the concrete above the neutral axis.

Figure 5 – Temperature history in the beams cross-section



(a) Tensile rebars (Rb1+ to Rb12+)

(b) Compressive rebars (Rb1- to Rb3-)

(c) Concrete control points above the neutral axis (pt1 to pt5)

Corner reinfocercements are more vulnerable to fire due to their proximity to exposed surfaces, which accelerates heat uptake and early strength loss, whereas centrally embedded reinforcements benefit from greater thermal inertia. Denser or more internally distributed reinforcement improves thermal shielding and redundancy. Reinforcement above the neutral axis is particularly susceptible, as steel's high conductivity and low heat capacity intensify temperature rise, making steel degradation the primary driver of fire-induced capacity loss. Under the EV curve, steeper thermal gradients accelerate reinforcement deterioration and reduce bending resistance more rapidly than ISO 834. In the first 45 minutes, average concrete temperatures above the neutral axis under EV

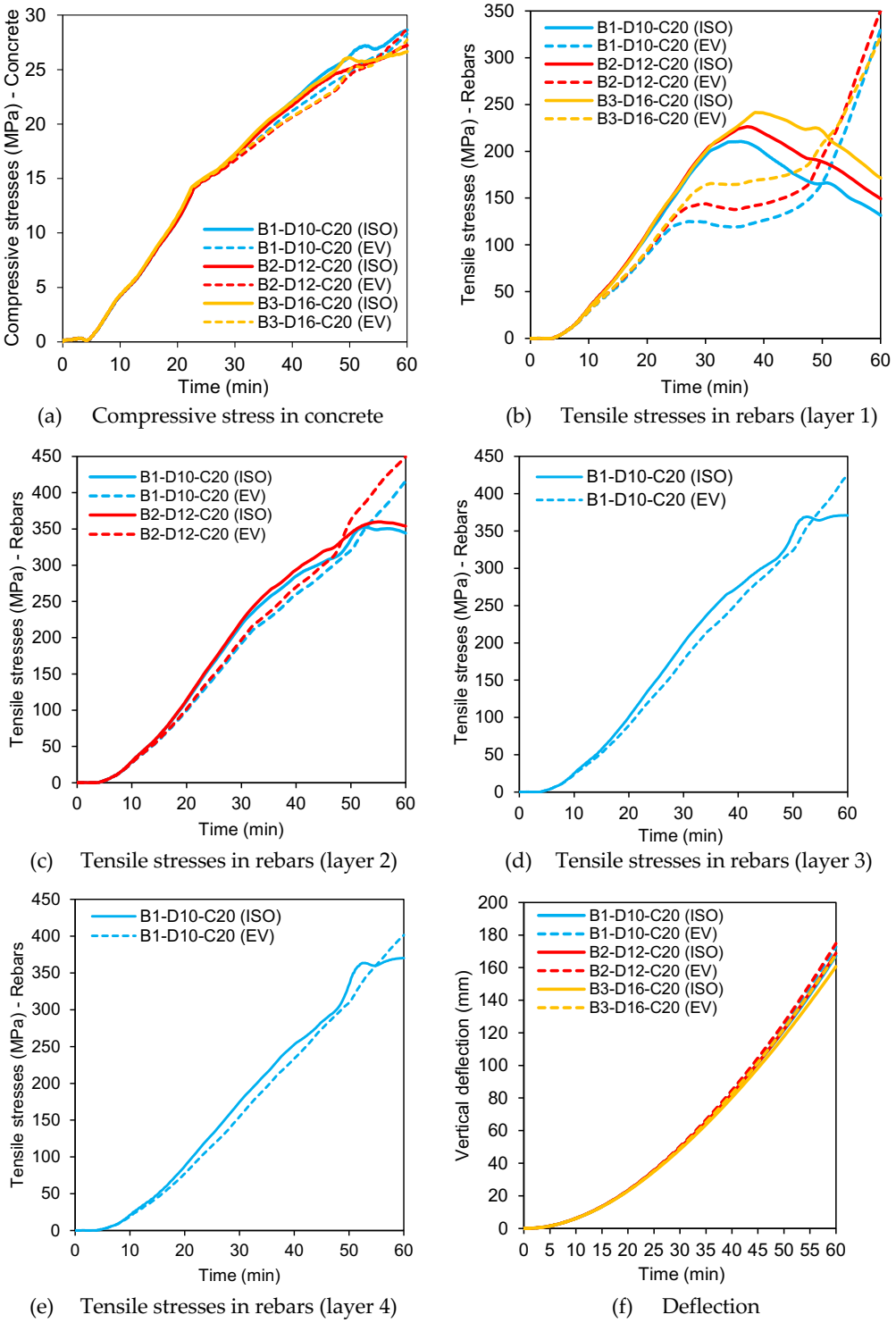
fire were 9.5%, 30.2%, and 12.5% higher than ISO at 15, 30, and 45 min, respectively; positive reinforcement temperatures were 51.4%, 28.2%, and 5.7% higher.

3.1 Ultimate load at high temperatures

a) Condition 1

Condition 1 results are shown in Figure 6.

Figure 6 – Tensions and deflections in the beams B1 to B3 – Condition



(a) Compressive stress in concrete

(b) Tensile stresses in rebars (layer 1)

(c) Tensile stresses in rebars (layer 2)

(d) Tensile stresses in rebars (layer 3)

(e) Tensile stresses in rebars (layer 4)

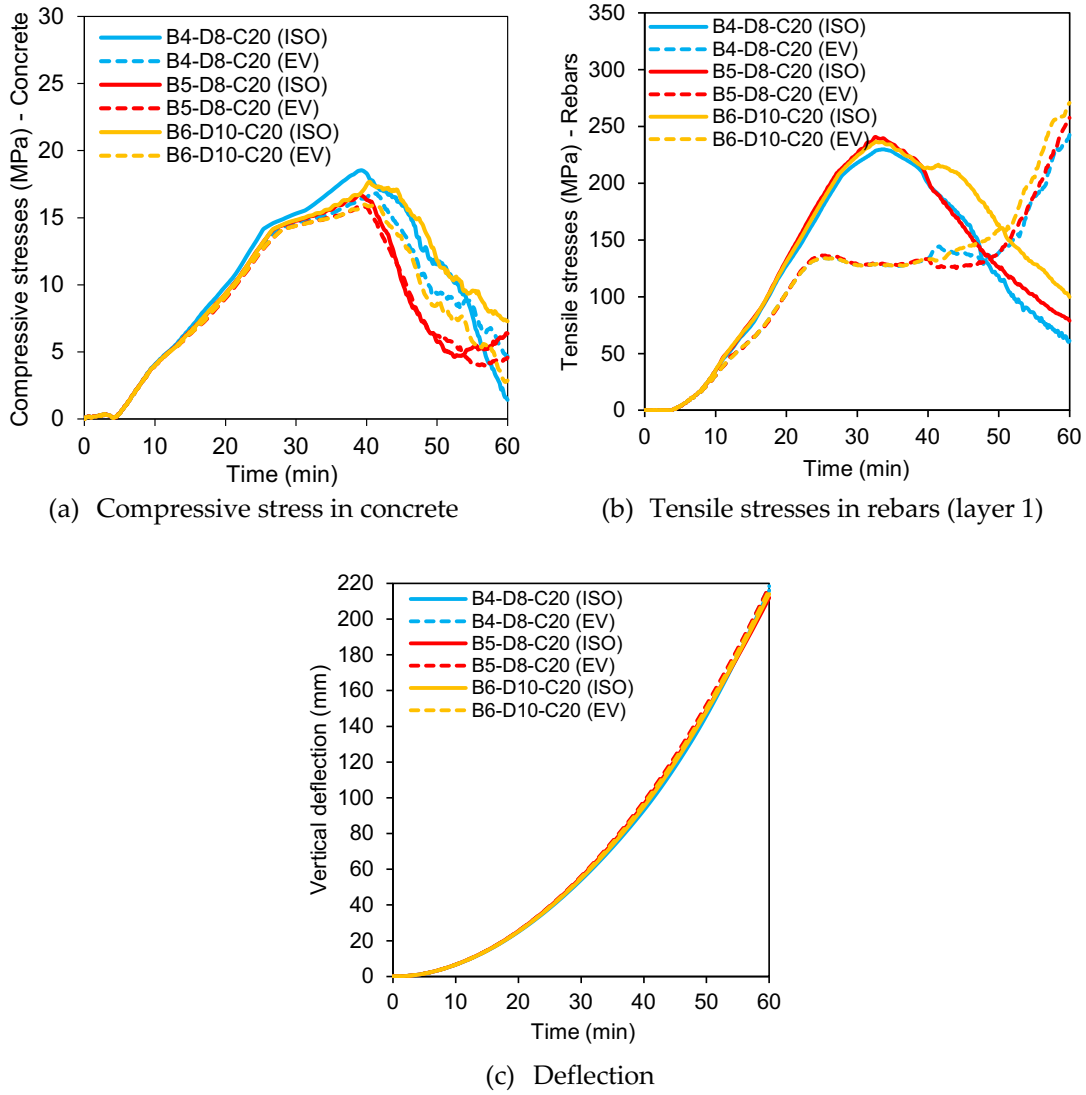
(f) Deflection

Under a sustained load of 70% of ambient ultimate capacity, all RC beams maintained structural stability for 60 minutes under both EV and ISO 834 fires, with no collapse observed (see Figure 6). Although the outer reinforcement layer yielded, concrete compression and stresses in the inner reinforcement layers remained below critical limits, enabling effective stress redistribution and preservation of residual bending capacity. Yielding of the first layer occurred significantly earlier under EV fire (22–27 min) than under ISO fire (30–37 min), corresponding to an approximately 27% reduction in time to yielding; smaller-diameter bars exhibited faster thermal response. Differences in rebar stresses (≤1 MPa) and concrete compression (≤2 MPa) between fire scenarios were modest. None of the beams approached the EN 1363-1 deflection limit (L/20), confirming that thermally induced material degradation (rather than excessive midspan deflection) governed structural performance within the evaluated period (Bolina *et al.*, 2023).

b) Condition 2

Condition 2 results are shown in Figure 7.

Figure 7 – Tensions and deflections in the beams B4 to B6 – Condition 2



(a) Compressive stress in concrete

(b) Tensile stresses in rebars (layer 1)

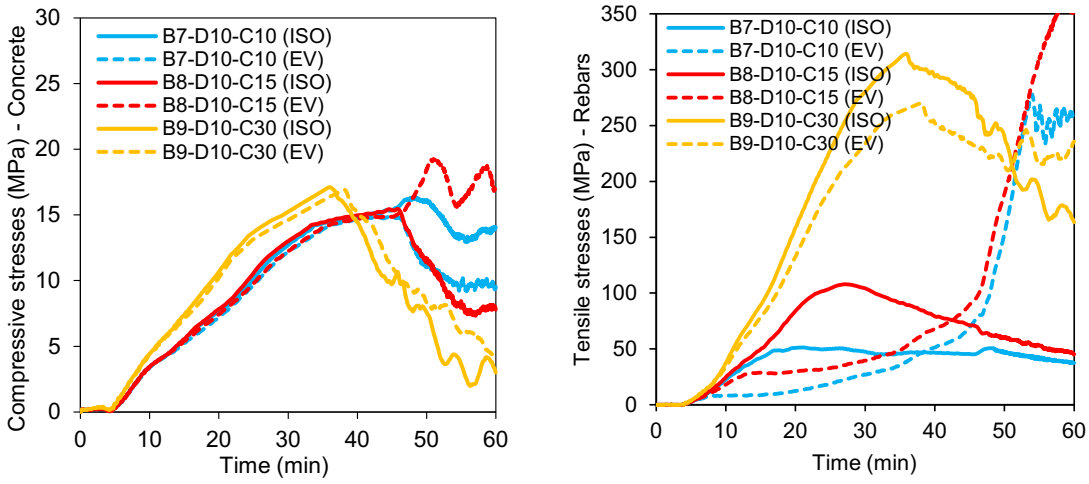
(c) Deflection

This condition examines beams with a single reinforcement layer, 20 mm cover, and high load ratio (as in B1–B3). Owing to the lack of redundancy, both steel and concrete reached yielding earlier than in multi-layer configurations. Reinforcement yielding occurred before 30 minutes under both ISO 834 and EV fires, with EV exposure leading to yielding approximately 9 minutes earlier, confirming its greater thermal severity. The outer (perimetral) rebars were the most vulnerable due to rapid temperature rise and accelerated steel strength degradation. In beam B4, intermediate longitudinal reinforcement provided only marginal delay in thermal penetration and stress redistribution, indicating that single-layer, low-reinforcement layouts lack sufficient thermal inertia and internal redundancy, resulting in a more brittle response. Despite this, beams B4 and B6 did not exceed the EN 1363-1 deflection limit, showing that although stiffness and strength were significantly reduced, deformation capacity remained within acceptable bounds; thus, both resistance and serviceability criteria are essential in fire design. Results re shown in Figure 7.

c) Condition 3

As shown in Figure 8, reducing concrete cover to 10–15 mm markedly accelerates failure under EV fire, as the diminished insulation allows rapid heat transfer to the outer rebars during the intense initial phase (peak within ~15 min). Consequently, steel temperatures rise faster, leading to earlier mechanical degradation and rebar yielding—about 10–12 minutes sooner than under ISO 834. In contrast, with cover ≥30 mm, reinforcement temperatures remain below critical thresholds during the most severe 30–45 minutes of EV exposure. The low thermal diffusivity of concrete delays heat penetration, and because EV fires exhibit a sharp peak followed by early decay, the duration of extreme heating is limited. Under these conditions, beams subjected to EV and ISO fires show similar times to failure, indicating that increased cover effectively mitigates the higher thermal severity of EV scenarios. Thus, adequate concrete cover acts as a robust passive protection measure, particularly for short-duration, high-intensity EV fires.

Figure 8 – Tensions in the beams B7 to B9 – Condition 3



(a) Compressive stress in concrete (b) Tensile stresses in rebars (layer 1)

4. CONCLUSION

This study evaluated the thermomechanical performance of RC beams under EV fire and compared results with ISO 834 predictions. The main conclusions are:

- EV fires generate more critical heating, especially within the first 30–45 min, potentially exceeding the thermal demand assumed in current code-based design.

- Faster temperature rise under EV exposure reduced time to reinforcement yielding by up to ~27%, primarily affecting outer (perimetral) rebars.

- Beams with multiple reinforcement layers maintained integrity through stress redistribution, whereas single-layer configurations showed significantly greater vulnerability.

- Increasing cover to ≥30 mm enhanced thermal insulation, delayed steel degradation, and improved structural resilience, demonstrating its relevance beyond durability considerations.

- Structural response was governed by material strength degradation rather than deflection, as no beam exceeded prescribed deformation limits.

In general, reliance solely on ISO 834 may underestimate the structural demand imposed by EV fires. The findings indicate the need to reassess fire design assumptions, reinforcement detailing, and minimum cover requirements in EV-prone environments, particularly enclosed parking areas, supported by further experimental and system-level research.

REFERENCES

Bolina, F.L. (2025), *Modelagem Computacional de Estruturas de Concreto Armado Em Elementos Finitos*, edited by Sorian, 1st ed., Vol. 1, Araucária, Paraná.

Bolina, F.L., Fachinelli, E.G. and Rodrigues, J.P.C. (2025), "Analysis of building structures subjected to electric vehicle fires", *Journal of Building Engineering*, Vol. 107, p. 112769, doi: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.112769.

Bolina, F.L., Gil, A.M., Fernandes, B., Hennemann, G.G., Gonçalves, J. and Tutikian, B.F. (2020), "Influence of design durability on concrete columns fire performance", *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 9 No. 3, pp. 4968–4977, doi: https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.015.

Bolina, F.L., Schallenberger, M. and Carvalho, H. (2023), "Experimental and numerical evaluation of RC ribbed slabs in fire conditions", *Structures*, Vol. 51, pp. 747–759, doi: https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.03.057.

Dundar, U. and Selamet, S. (2023), "Fire load and fire growth characteristics in modern high-rise buildings", *Fire Safety Journal*, Vol. 135, p. 103710, doi: https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103710.

EN 1992-1.2. (2004), "Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design", *European Committee for Standardization*, European Standard, Brussels, Belgium.

Funk, E., Flecknoe-Brown, K.W., Wijesekere, T., Husted, B.P. and Andres, B. (2023), "Fire extinguishment tests of electric vehicles in an open sided enclosure", *Fire Safety Journal*, Vol. 141, p. 103920, doi: https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103920.

IEA. (2024), "Global EV Outlook 2024", available at: https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024 (accessed 21 September 2024).

Internal Association of Fire. (2022), “Up to 150 000 liters of water needed to put out a fire in an electric car”, available at: https://www.ctif.org/news/150-000-liters-water-needed-put-out-fire-electric-car (accessed 21 September 2024).

ISO 834. (1999), “Fire-resistance tests — Elements of building construction — Part 1: General requirements”, *International Organization for Standardization*, Geneva.

K. Sharma, P., Gera, B. and Singh, R.K. (2021), “A CFD Validation of Fire Dynamics Simulator for Corner Fire”, *CFD Letters*, Vol. 2 No. 4, pp. 137–148.

Kang, S., Kwon, M., Yoon Choi, J. and Choi, S. (2023), “Full-scale fire testing of battery electric vehicles”, *Applied Energy*, Vol. 332, p. 120497, doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120497.

Li, H., Duan, Q., Zhao, C., Huang, Z. and Wang, Q. (2019), “Experimental investigation on the thermal runaway and its propagation in the large format battery module with Li(Ni1/3Co1/3Mn1/3)O2 as cathode”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 375, pp. 241–254, doi: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.116.

McGrattan, K. (2006), “Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide”, *NIST Special Publication 1018*, pp. 1–116.

Mier, F.A., Morales, R., Coultas-McKenney, C.A., Hargather, M.J. and Ostanek, J. (2017), “Overcharge and thermal destructive testing of lithium metal oxide and lithium metal phosphate batteries incorporating optical diagnostics”, *Journal of Energy Storage*, Vol. 13, pp. 378–386, doi: https://doi.org/10.1016/j.est.2017.08.003.

NBR 15200. (2024), “Design of reinforced concrete structures in case of fire (in Portuguese)”, *Brazilian National Standards Organization*, Brazilian Standard Association, Rio de Janeiro, Brazil.

Peng, Y., Yang, L., Ju, X., Liao, B., Ye, K., Li, L., Cao, B., *et al.* (2020), “A comprehensive investigation on the thermal and toxic hazards of large format lithium-ion batteries with LiFePO4 cathode”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 381, p. 120916, doi: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120916.

Sturm, P., Fößleitner, P., Fruhwirt, D., Galler, R., Wenighofer, R., Heindl, S.F., Krausbar, S., *et al.* (2022), “Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels”, *Fire Safety Journal*, Vol. 134, p. 103695, doi: https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103695.

Sturm, P., Fössleitner, P., Fruhwirt, D., Schirmer, A., Reinwald, B., Kühbacher, M., Wenighofer, R., *et al.* (2020), “Brandversuch mit E-Fahrzeugen in Tunnelanlagen”, *BHM Berg- Und Hüttenmännische Monatshefte*, Vol. 165 No. 12, pp. 651–657, doi: 10.1007/s00501-020-01054-2.

Sun, P., Bisschop, R., Niu, H. and Huang, X. (2020), “A Review of Battery Fires in Electric Vehicles”, *Fire Technology*, Vol. 56 No. 4, pp. 1361–1410, doi: 10.1007/s10694-019-00944-3.

Wu, T., Chen, H., Wang, Q. and Sun, J. (2018), “Comparison analysis on the thermal runaway of lithium-ion battery under two heating modes”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 344, pp. 733–741, doi: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.11.022.

CAPÍTULO 2 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/b5abvw36
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/s6yjwb03

Fire Performance of Additive-Modified Mortars for Steel and Reinforced Concrete Structure Protections

Fabricio L. Bolina[1]*, Débora B. Silva [2]; Eduardo C. Pachla[3]
*Autor de contato: fabriciobolina@gmail.com

[1] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil
[2] Departamento de Arquitetura, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
[3] Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

ABSTRACT

Building structures are vulnerable to fire, requiring design strategies that address temperature-induced mechanical degradation. This study evaluates the thermal performance of 23 mortar formulations with different compositions and additives, using experimentally derived thermal properties collected from the literature and implemented in a thermal finite element model. All mortars reduced the internal temperature of structural steel and reinforced concrete members, with effectiveness governed by coating thickness and intrinsic thermal properties. The best performance was achieved by mortars incorporating glass fiber reinforced polymer (GFRP) as a slag substitute and expanded perlite as a sand replacement, reaching temperature reductions on the order of 100%, whereas mixtures with 30% vermiculite or 15% light expanded polyvinyl chloride (PVC) as sand substitutes exhibited the lowest thermal efficiency.
Keywords: Steel structures. Reinforced concrete structures. Beams. Mortar. Fire.

RESUMO

Estruturas estão sujeitas à ação do fogo, exigindo que o projeto considere a degradação mecânica induzida por altas temperaturas. Este estudo avalia o desempenho térmico de 23 formulações de argamassas com diferentes composições e aditivos, cujas propriedades térmicas experimentais foram implementadas em um modelo numérico por elementos finitos para análise térmica. Todas as argamassas promoveram redução da temperatura interna de elementos de aço estrutural e concreto armado, com desempenho dependente da espessura do revestimento e das propriedades térmicas intrínsecas. As melhores respostas foram observadas nas argamassas com substituição de escória por polímero reforçado com fibra de vidro (GFRP) e com substituição de areia por perlita expandida, alcançando reduções de temperatura da ordem de 100%, enquanto as misturas com 30% de vermiculita ou 15% de policloreto de vinila (PVC) apresentaram o pior desempenho térmico.
Palavras-chave: Estruturas de aço. Estruturas de concreto. Vigas. Revestimentos. Fogo.

1. INTRODUCTION

Mortar coatings play a key role in enhancing the fire resistance of steel and reinforced concrete structures by acting as thermal barriers that delay heat transfer during fire. By limiting temperature rise, they help preserve structural integrity, since steel rapidly loses load-bearing capacity above 500 °C and concrete may experience cracking and spalling. In steel members, mortar layers extend the time to critical strength loss; in reinforced concrete, they help maintain the steel–concrete bond and reduce the risk of collapse. Fire-resistant mortars represent an essential passive protection strategy, with performance directly governed by their composition and thermal properties.

Rong et al. (2024) (Rong *et al.*, 2024) investigated the incorporation of glass fiber reinforced polymer (GFRP) powder as a partial binder substitute in mixtures containing cement, fly ash, and slag. Increasing GFRP content led to reductions in both thermal conductivity and density, with a more pronounced decrease in thermal conductivity. The findings indicate that GFRP enhances the thermal insulation performance of mortars, representing a strategy to improve energy efficiency without substantially affecting mass-related properties.

Topçu et al. (2024) (Topçu *et al.*, 2024) evaluated the use of sepiolite-based Phase Change Material (PCM) as a partial replacement for natural sand in mortars. The incorporation of PCM-impregnated sepiolite resulted in significant reductions in both thermal conductivity and density, indicating improved thermal insulation performance. The findings demonstrate the potential of sepiolite-based PCM systems to enhance energy efficiency in construction materials by reducing heat transfer while modifying mass-related properties.

Zhao et al. (2023) (Zhao *et al.*, 2023) investigated the feasibility of replacing natural sand with recycled carbon black (RCB) in mortars. Increasing RCB content led to progressive reductions in thermal conductivity, thermal diffusivity, and density, indicating enhanced thermal insulation capacity. These results highlight RCB as a sustainable alternative for improving the thermal performance of construction composites while promoting waste reutilization.

El Boukhari et al. (2023) (EL boukhari *et al.*, 2023) evaluated the use of olive solid waste (OSW) as a partial replacement for sand in mortar mixtures. Increasing OSW content resulted in reduced density, thermal conductivity, and thermal diffusivity, indicating improved thermal insulation performance. The findings support OSW as a sustainable alternative that enhances the thermal behavior of mortars while contributing to waste valorization in construction applications.

Adediran et al. (2023) (Adediran *et al.*, 2023) investigated the partial replacement of fayalite slag (FS) with ladle slag (LS) and blast furnace slag (BFS) in FS-based mortars. The incorporation of BFS and LS increased the thermal conductivity compared to mixtures containing only FS, indicating a higher heat transfer capacity. Although these substitutions modify the mortar's thermal behavior, the resulting increase in conductivity may limit their suitability for applications requiring enhanced thermal insulation.

Asadi et al. (2025) (Asadi *et al.*, 2025) investigated the incorporation of Micronal 24D, a microencapsulated phase change material (MPCM), added at a fixed proportion relative to cement

content in mortars. The inclusion of MPCM reduced both thermal conductivity and density, independent of cement dosage. These results indicate that MPCM effectively enhances the thermal insulation performance of mortars, contributing to improved energy efficiency without constraining cement composition.

Karakaş et al. (2023) (Karakaş *et al.*, 2023) examined the replacement of natural sand with expanded perlite (EP) and raw perlite (RP) in fly ash–based mortars. The mixture with EP as a full sand substitute showed markedly lower thermal conductivity and density compared to the RP-based mortar. These findings indicate that EP is more effective in improving thermal insulation and reducing unit weight, making it a preferable alternative for applications demanding enhanced thermal performance.

The study evaluates the thermal performance of different mortars applied as fire protection coatings for structural beams. Four beams (two reinforced concrete and two steel members with distinct cross-sectional geometries) were analyzed to assess temperature distribution within the cross section under fire exposure. A total of 23 mortar formulations with varying compositions and additives were considered. The objective is to identify the mortar types, mixture proportions, and additives that most effectively enhance structural thermal performance during fire.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Mortar characteristics, parameters and nomenclatures

Table 1 summarizes the mortar formulations, including the reference mix (M1: cement, sand, and water) and 22 alternative mixtures incorporating partial or total replacements of cement, sand, or slag to enhance thermal performance. The modifications include fly ash and GFRP powder (M2–M6), raw vermiculite with CSA cement (M7–M8), phase change materials (M9–M10), recycled carbon black (M11–M12), olive solid waste (M13–M14), microencapsulated PCM (Micronal 24D) at 20% of cement weight (M15–M17), expanded and raw perlite as full sand replacements (M18–M19), vegetable synthetic sponge (M20–M21), and expanded PVC aggregates replacing a quarry/sea sand blend (M22–M23). Table 1 identifies each formulation and its literature source and where the thermal data was extracted to create the FEA model with the proposed mortar coatings..

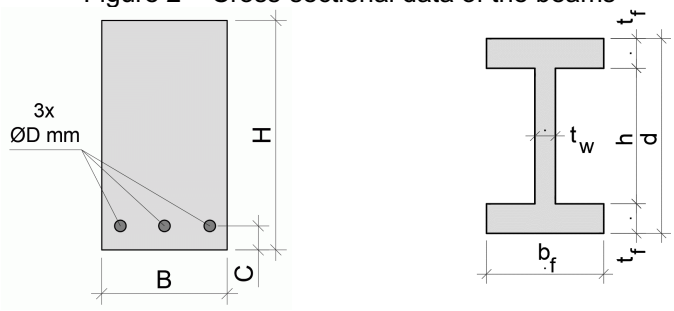
Table 1 – Mortar cases and nomenclatures

Mortar Name	Description	Reference
M1	Conventional mortar with cement and sand	Rong et al., 2024
M2	4% Glass Fiber Reinforced Polymers Powder and 16% Fly Ash cement replacement	
M3	4% Glass Fiber Reinforced Polymers Powder and 16% Fly Ash Slag replacement	
M4	40% Glass Fiber Reinforced Polymers Powder Slag replacement	
M5	40% Glass Fiber Reinforced Polymers Powder Cement replacement	
M6	40% Glass Fiber Reinforced Polymers Powder and 20% Fly Ash cement replacement	
M7	Raw Vermiculite 30% sand replacement	Kouadjo Tchekwagep et al., 2024
M8	Raw Vermiculite 100% sand replacement	
M9	Phase Change Material 20% sand replacement	Topçu et al., 2024
M10	Phase Change Material 40% sand replacement	
M11	Carbon Black 30% sand replacement	Zhao et al., 2023
M12	Carbon Black 100% sand replacement	
M13	Olive Solid Waste 5% sand replacement	EL boukhari et al., 2023
M14	Olive Solid Waste 15% sand replacement	
M15	Microencapsulated Phase Change Materials 20% cement weight addition	Asadi et al., 2025
M16	Microencapsulated Phase Change Materials 20% cement weight addition	
M17	Microencapsulated Phase Change Materials 20% cement weight addition	
M18	Expanded Perlite 100% Sand replacement	Karakaş et al., 2023
M19	Raw Perlite 100% Sand replacement	
M20	Vegetable Synthetic Sponge 5% sand replacement	Salem et al. 2020
M21	Vegetable Synthetic Sponge 20% sand replacement	
M22	lightweight aggregates of Expanded Polyvinyl Chloride 15% sand replacement	Latroch et al. 2018
M23	lightweight aggregates of Expanded Polyvinyl Chloride 75% sand replacement	

2.2 Beam cross-section geometries

A total of four cases of beams were tested: two for RC and two for steel. The difference between the two is the cross-section dimensions. The cross-section types are shown in Figure 2 and the geometric data in Table 3 and Table 4.

Figure 2 – Cross-sectional data of the beams



(a) Reinforced concrete beam (b) Steel beam

Table 3 – Reinforced concrete beams nomenclature

Beam name	B	H
Bc1	150 mm	500 mm
Bc2	250 mm	500 mm

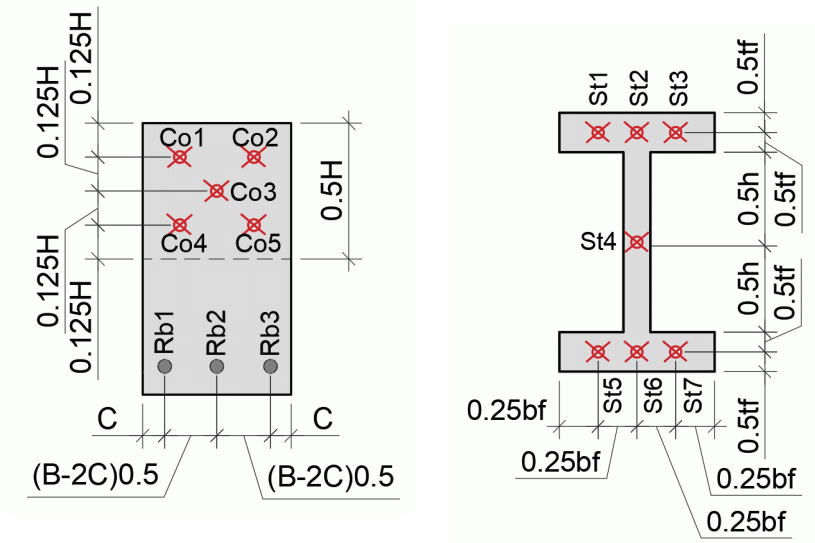
Table 4 – Steel beams nomenclature

Beam name	d	b_f	t_f	h	t_w
Bs1	229	210	23.7	180	14.5
Bs2	535	166	16.5	502	10.3

2.3 Control points

Fig.3 shown the control points assumed in the temperature measurements.

Figure 3 – Control points assumed in the average temperature of the beam cases



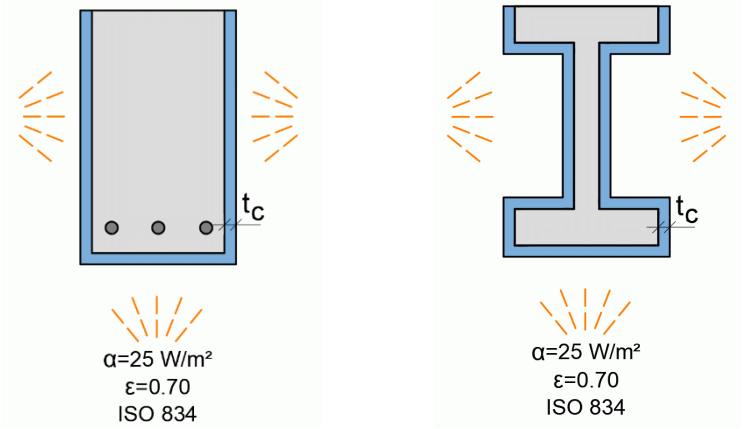
(a) Reinforced concrete beam (b) Steel beam

For the RC beams, temperatures were measured at locations relevant to analytical bending resistance calculations, namely in the concrete compression zone above the neutral axis and in the tensile reinforcement. The average concrete temperature was obtained from control points Co1 to Co5, and the average reinforcement temperature from Rb1 to Rb3 (Figure 3a). For the steel beams, the average temperature was calculated based on control points St1 to St7, as shown in Figure 3b.

2.4 FEA modelling

The temperature field in the cross-sections is governed by heat conduction, with thermal diffusivity defined as $\alpha=\lambda/(\rho\, Cp)$, where λ is thermal conductivity, ρ density, and Cp specific heat. Mortar properties were taken from Table 1, while the thermal parameters for concrete, reinforcement, and structural steel by Eurocode provisions. Convective and radiative heat transfer at the boundaries were defined considering convective and radiative data, ambient temperature (20 °C), and the fire temperature according to the ISO 834 (ISO 834-1, 2014). The problem was solved using a 3D nonlinear transient thermal model with DC3D8 solid elements and full integration. A refined mesh of 1.0 × 1.0 × 1.0 mm was adopted, with a temperature convergence tolerance of 0.1 °C and a time increment of 0.001 s.

Figure 4 – Heating process and parameters of the assumed beam cross-sections



(a) Reinforced concrete beam (b) Steel beam

The criteria and procedure for the FE model were validated by the authors through an extensive full-scale experimental test. Some of these results can be found in (Bolina, Poleto, *et al.*, 2023; Bolina, Schallenberger, *et al.*, 2023; Bolina and Rodrigues, 2023). The FEA numerical simulation is also based on the approaches presented by the authors in (Kodur and Phan, 2007).

3. RESULTS

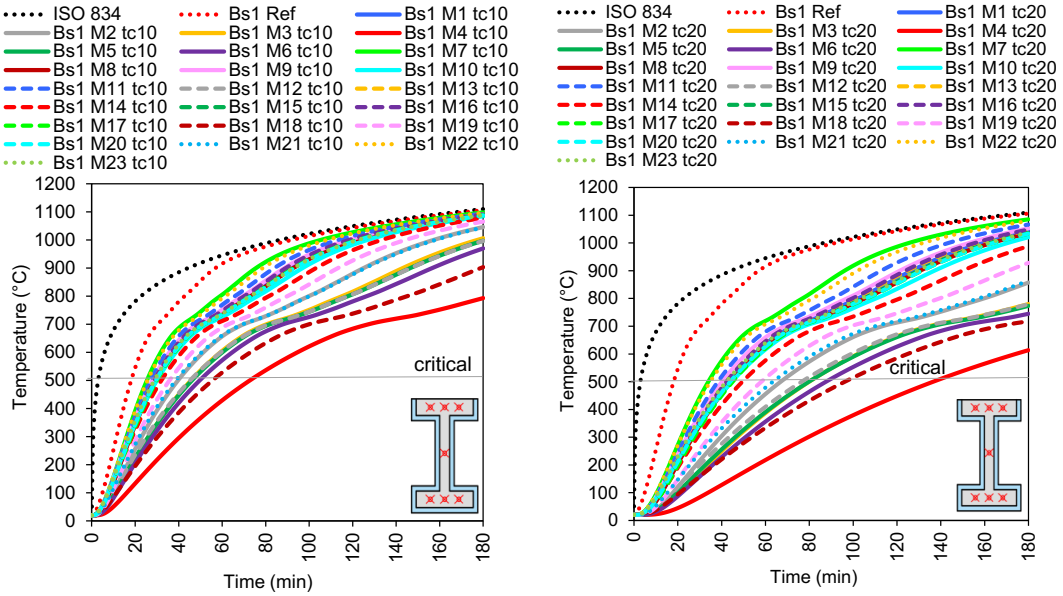
3.1 Bs1 beams

See Figure 5. Only M4 at 30 mm prevented the steel profile from reaching critical temperatures, confirming its superior performance. Thermal efficiency increased with thickness. For M4, reductions reached up to 95.0% (30 min, 30 mm), with maximum temperatures decreasing to 434.6 °C at 30 mm, below typical critical limits.

M18 (similar to M6) showed good early performance but decreasing efficiency over time; at 30 mm, reductions ranged from 87.4% (30 min) to 45.6% (180 min), with peak temperatures still

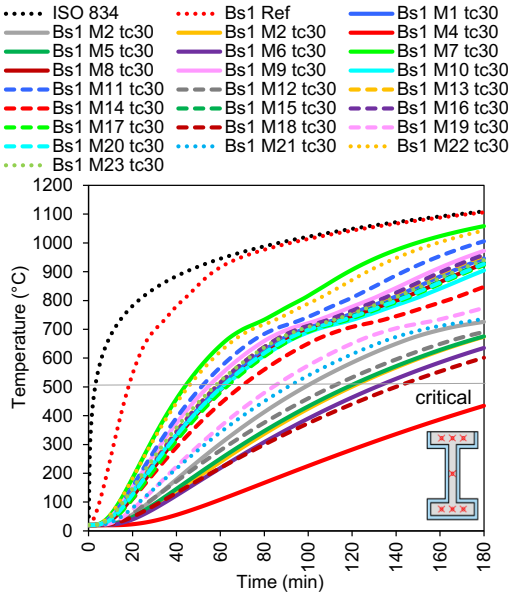
reaching 601.4 °C. M7 and M22 were the least effective. Even at 30 mm, reductions at 180 min were only 5.7%, and peak temperatures exceeded 1000 °C for all thicknesses, indicating limited suitability for structural fire protection.

Figure 5 – Cross-section temperature in the Bs1 beams



(a) c=10 mm

(b) c=20 mm



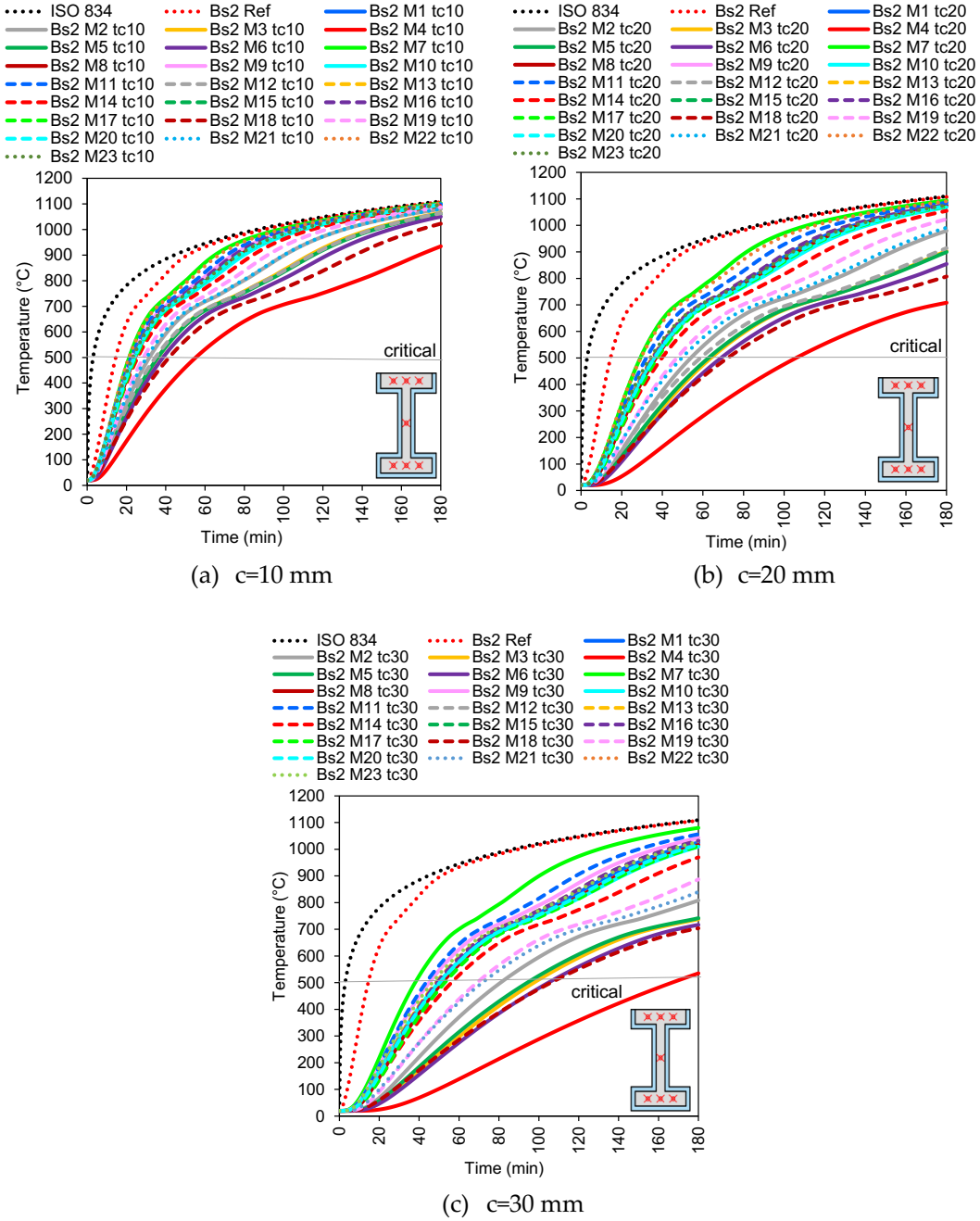
(c) c=30mm

3.2 Bs2 beams

See Fig.6. None of the mortars prevented the steel profile from reaching the critical temperature, although M4 at 30 mm delayed this limit until 173 min, confirming its superior performance. The results also reflect the influence of the section factor (heated perimeter-to-area ratio), which governs heating rate but is beyond the present scope. M4 achieved the highest reductions, reaching 94.6% at 30 min (30 mm), with peak temperatures of 934.7 °C, 708.2 °C, and 534.9 °C for 10, 20, and 30 mm, respectively. M18 and M6 showed similar but slightly lower efficiency. In contrast,

M7 and M22 provided minimal long-term protection; even at 30 mm, reduction was only 3.0% at 180 min, with peak temperatures above 1070 °C. Overall, mortar type and thickness significantly affect steel heating, directly influencing mechanical degradation and fire resistance performance.

Figure 6 – Cross-section temperature in the Bs2 beams



(a) c=10 mm (b) c=20 mm

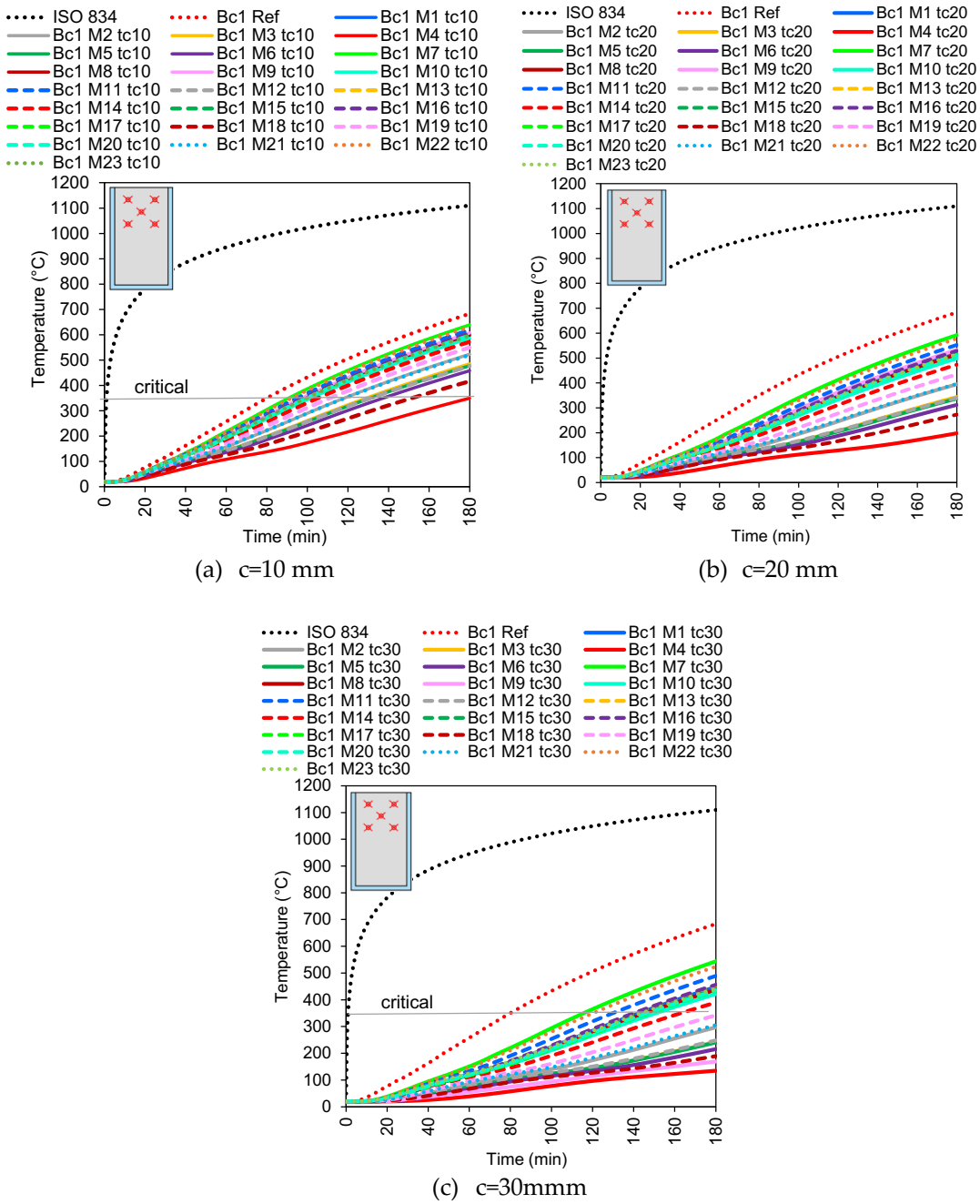
(c) c=30 mm

3.3 Bc1 beams

See Fig.7. A 10 mm mortar layer already provides meaningful protection against cross-sectional heating, though performance depends on composition. Mortars should therefore be considered in RC fire design. M4 showed the best results, reducing concrete temperatures by about 53–61% (10 mm), 71–75% (20 mm), and 80–84% (30 mm). Maximum temperature dropped from 683.2 °C (unprotected) to 349.9 °C, 198.2 °C, and 134.6 °C, respectively. M18 (similar to M6) offered good

but lower protection, while M7 and M22 were the least effective, with reductions below 16% at 10 mm and maximum temperatures still above 520 °C at 30 mm. In general, thickness and intrinsic thermal properties govern fire performance, affecting temperature rise and structural safety.

Figure 7 – Cross-section temperature in the concrete part in the case of Bc1 beams



(a) c=10 mm (b) c=20 mm

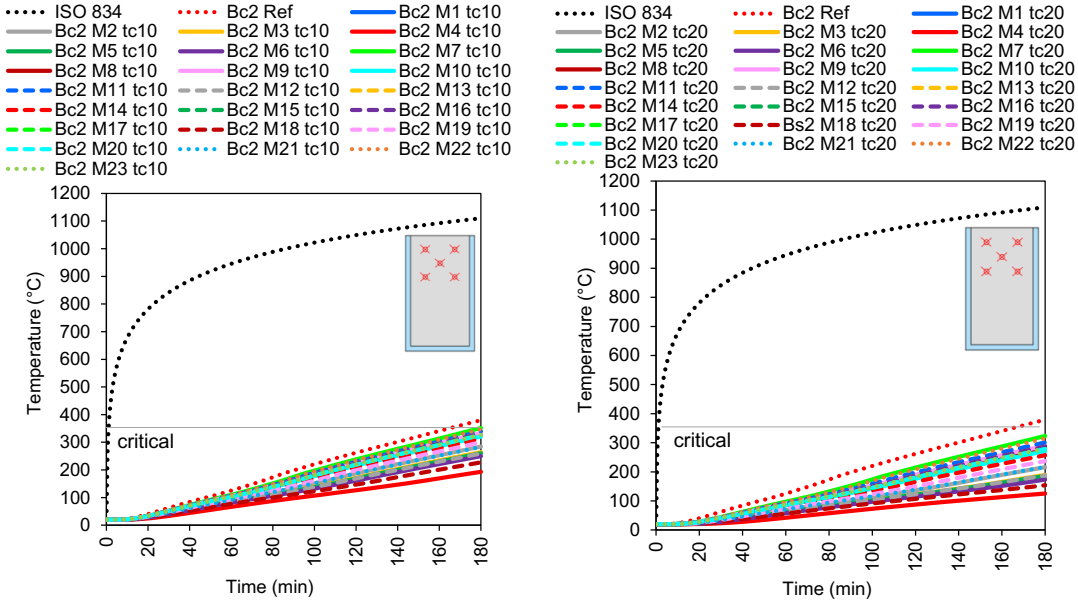
(c) c=30mmm

Reinforcement is the most temperature-sensitive component in RC members under fire. All mortars reduced rebar temperatures, with M4 and M18 showing the best performance. M4 limited maximum rebar temperatures to 577.1 °C (10 mm) and 228.2 °C (20 and 30 mm), with reductions reaching up to 91% during fire exposure. M18 also performed well, with maximum temperatures of 663.6 °C, 470.6 °C, and 344.4 °C for 10, 20, and 30 mm, respectively. In contrast, M7 and M22 were ineffective, with rebar temperatures remaining above 800 °C even at 30 mm thickness.

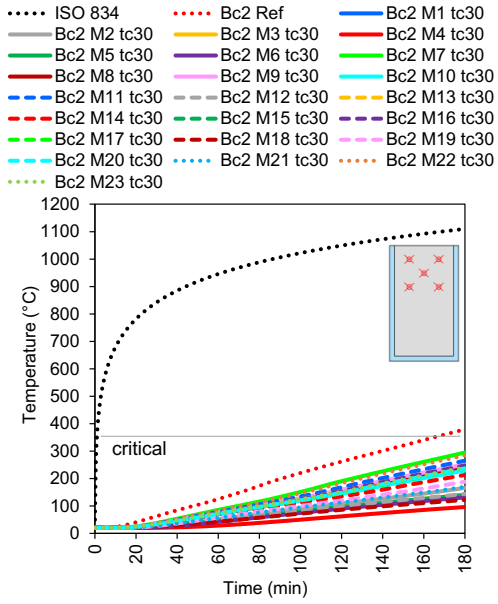
3.4 Bc2 beams

See Fig.9.

Figure 9 – Cross-section temperature in the concrete part in the case of Bc2 beams



(a) c=10 mm (b) c=20 mm



(c) c=30mmm

For beam Bc2, M4 again showed the best thermal performance. At 10 mm thickness, it reduced the average cross-sectional temperature by 70.7–75.2% during ISO 834 exposure; at 20 mm, reductions ranged from 79.9–83.0%, and at 30 mm reached up to 88.6% relative to the unprotected case. M18 presented the second-best performance, with reductions of 65.5–71.5% (10 mm), 75.0–78.5% (20 mm), and 79.8–83.6% (30 mm). M6 showed very similar behavior and can be considered thermally equivalent to M18. M7 and M22 exhibited the lowest performance, though still achieving average reductions of approximately 55%, 60%, and 65% for 10, 20, and 30 mm, respectively. Due to the beam's cross-sectional dimensions, concrete temperatures remained below

critical limits in all protected cases. Only the unprotected beam briefly reached critical levels, and with limited severity. Thus, for Bc2, mortar application is not essential for concrete protection but remains relevant for safeguarding reinforcement, as discussed subsequently.

Reinforcement temperature governs bending resistance and is therefore the critical parameter in RC fire design. While some mortars effectively prevent rebars from reaching critical temperatures, others provide limited protection, making mortar composition a decisive design criterion. M4 again showed the best performance and was the only mortar capable of preventing critical rebar temperatures at all thicknesses. At 10 mm, reductions ranged from 65.5% (30 min) to 40.9% (180 min); at 20 mm, from 83.2% to 63.8%; and at 30 mm, from 90.9% to 76.8%, demonstrating consistently high efficiency. M18 and M6 exhibited similar and moderate performance. For 10 mm, reductions decreased from about 56% (30 min) to 27% (180 min); for 20 mm, from 72% to 50%; and for 30 mm, from 84% to 63%, indicating reduced effectiveness with increasing fire duration. In contrast, M7 and M22 were the least effective and did not prevent critical temperatures. Even at 30 mm, reductions ranged only from 57% (30 min) to 17% (180 min). Overall, only M4 ensured adequate reinforcement protection across all thicknesses, confirming the importance of mortar type in structural fire design.

4. CONCLUSIONS

The study assessed 23 mortar formulations with different mixes and additives as thermal protection for steel and reinforced concrete members under fire. All mortars reduced internal temperatures, with performance governed by thickness and intrinsic thermal properties. The main conclusions are:

- Mortars incorporating GFRP as a slag substitute and expanded perlite as a sand replacement showed the highest thermal efficiency, achieving temperature reductions close to 100% in some cases.

- Mixtures containing 30% vermiculite or 15% expanded PVC exhibited the lowest performance, underscoring the importance of material selection.

- Additives such as GFRP powder and expanded perlite significantly improve insulation by reducing thermal conductivity; GFRP enhances thermal stability, while perlite increases porosity and thermal resistance.

- Further research is needed to optimize additive combinations and better understand their interaction effects.

- Specific heat was consistently absent in the reviewed experimental studies; future research should include its measurement to improve the accuracy of thermal analyses.

REFERENCES

Adediran, A., Yliniemi, J., Moukannaa, S., Ramteke, D.D., Perumal, P. and Illikainen, M. (2023), "Enhancing the thermal stability of alkali-activated Fe-rich fayalite slag-based mortars by

incorporating ladle and blast furnace slags: Physical, mechanical and structural changes", *Cement and Concrete Research*, Elsevier Ltd, Vol. 166, doi: 10.1016/j.cemconres.2023.107098.

Asadi, I., Ji, G., Steiner, G. and hajmohammadian baghban, M. (2025), "Impact of microencapsulated phase change materials (PCMs) on the thermal and mechanical performance of cement mortar", *Developments in the Built Environment*, Elsevier Ltd, Vol. 21, doi: 10.1016/j.dibe.2024.100594.

Bolina, F.L., Poleto, G. and Carvalho, H. (2023), "Proposition of parametric data for UHPC at high temperatures", *Journal of Building Engineering*, Vol. 76, p. 107222, doi: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107222.

Bolina, F.L. and Rodrigues, J.P.C. (2023), "Finite element analysis criteria for composite steel decking concrete slabs subjected to fire", *Fire Safety Journal*, Vol. 139, p. 103818, doi: https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103818.

Bolina, F.L., Schallenberger, M. and Carvalho, H. (2023), "Experimental and numerical evaluation of RC ribbed slabs in fire conditions", *Structures*, Vol. 51, pp. 747–759, doi: https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.03.057.

EL boukhari, M., Merroun, O., Maalouf, C., Bogard, F. and Kissi, B. (2023), "Enhancing mechanical and thermal properties of sustainable cement mortar through incorporation of olive solid waste aggregates", *Materials Today: Proceedings*, Elsevier BV, doi: 10.1016/j.matpr.2023.09.007.

ISO 834-1. (2014), "Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements", International Organization for Standardization (ISO), Geneve, Switzerland.

Karakaş, H., İlkentapar, S., Durak, U., Örklemez, E., Özuzun, S., Karahan, O. and Atiş, C.D. (2023), "Properties of fly ash-based lightweight-geopolymer mortars containing perlite aggregates: Mechanical, microstructure, and thermal conductivity coefficient", *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, Vol. 362, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129717.

Kodur, V.K.R. and Phan, L. (2007), "Critical factors governing the fire performance of high strength concrete systems", *Fire Safety Journal*, Vol. 42 No. 6–7, pp. 482–488, doi: 10.1016/j.firesaf.2006.10.006.

Rong, X., Xu, W., Zhang, T. and Zhang, J. (2024), "Mechanical and thermal properties of insulated mortar incorporated with GFRP powder", *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, Vol. 416, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135259.

Topçu, İ.B., Bayram, M., Ustaoğlu, A., Hekimoğlu, G., Erdoğmuş, E., Sarı, A., Gencel, O., *et al.* (2024), "Innovative cementitious mortar incorporated with sepiolite based shape-stable phase change material for thermal controlling of buildings", *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, Vol. 426, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.136124.

Zhao, J., Huang, G., Guo, Y., Gupta, R. and Liu, W.V. (2023), "Developing thermal insulation cement-based mortars using recycled carbon black derived from scrapped off-the-road tires", *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, Vol. 393, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.132043.

CAPÍTULO 3 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/a59kp020
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/nw9fq709

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONCRETO APLICADO NA RETENÇÃO DE REJEITOS RADIOATIVOS

Isabella Lobo Filgueiras de Miranda Gomes[1]*, Jhenifer Ketelin Neves Souza[2]; Clédola Cássia Oliveira de Tello[3]
*Autor de contato: isabella.lobo.fmg@gmail.com

[1] Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil
[2,3] Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, Brasil

RESUMO

Para garantir a segurança socioeconômica e ambiental da expansão do uso da energia nuclear, é necessária a construção de um repositório para o armazenamento definitivo de rejeitos radioativos. Com o objetivo de utilizar concreto como barreiras de engenharia no depósito final desses rejeitos, este estudo analisou o desempenho de concretos com fibras ancoradas e corrugadas com teores de 1,5% e 2,0%. Para esta aplicação, o concreto deve atender à requisitos normativos, como resistência à compressão e à tração maiores que 54 MPa e 5 MPa, respectivamente. O estudo mostrou que somente concretos com o teor de 2,0% de fibras atenderam aos requisitos normativos. Os resultados dos ensaios de porosidade mostraram que todas as formulações apresentaram baixo índice de vazios, sendo classificadas como concreto durável. Nos ensaios de degradação, os concretos apresentaram bons resultados, sendo o com fibras ancoradas o mais resistente aos efeitos deletérios. Conclui-se que o concreto com 2,0% de fibras ancoradas é o mais promissor para o uso nos contêineres de concreto.
Palavras-chave: durabilidade; desempenho; rejeito radioativo.

ABSTRACT

To ensure the socioeconomic and environmental safety of expanding the use of nuclear energy use, it is necessary to have a final storage for radioactive wastes. Aiming at using concrete as engineered barriers in the final disposal system for these wastes, this study analyzed the performance of concretes with crimped and hooked-end fibers at contents of 1.5% and 2.0%. For this application, the concrete has meet regulatory requirements, such as compressive and tensile strengths greater than 54 MPa and 5 MPa, respectively. The study showed that only the concretes with a 2.0% fiber content meet these regulatory requirements. Porosity test results indicated that all formulations had a low void index, classified as durable concrete. In degradation tests, the concretes performed well, with the hooked-end fiber variant being the most resistant to deleterious effects. It was concluded that concrete with 2.0% hooked-end fibers is the most promising for use in concrete containers.
Keywords: durability; performance; radioactive waste.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente há um impulso global para o crescimento e o desenvolvimento de fontes energéticas com menos emissão de CO_2, como eólica, solar, hidrelétrica e nuclear. De acordo com a IAEA (2025), a utilização da energia nuclear evitou a emissão de 70 Gt de CO_2 nos últimos 50 anos. Apresentando elevado potencial de crescimento, a energia nuclear tornou-se uma possibilidade, devido à baixa emissão de gases de efeito estufa, além da capacidade de ajustar a geração de energia de acordo com a demanda e ser utilizada também em outros setores, como da saúde e alimentício.

No Brasil, o Plano Decenal de Expansão de Energia da EPE (2026), demonstra o crescimento anual de sua demanda energética. Atualmente a produção de eletricidade a partir da energia nuclear, fornecida por duas usinas, representa cerca de 3% do que é gerado no país. Para garantir a segurança socioeconômica e ambiental da expansão do uso da energia nuclear, é necessário um depósito definitivo para o armazenamento dos rejeitos radioativos (Tavares, 2019).

O Centro Tecnológico Nuclear e Ambiental (CENTENA), além de abrigar o depósito definitivo para o armazenamento de rejeitos radioativos de baixo e médio nível de radiação, desempenhará papel fundamental no avanço da tecnologia nuclear no Brasil, promovendo atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) (CDTN, 2024). Para garantir a retenção dos radionuclídeos e evitar sua migração para o meio ambiente, será empregado um sistema de múltiplas barreiras, composto por barreiras naturais, como camadas de solo e argilas, e por barreiras de engenharia, incluindo contêineres e módulos de concreto.

Dentre os diferentes tipos de concretos existentes no mercado, o autoadensável destaca-se devido a sua trabalhabilidade e à elevada resistência inicial. Para que o concreto possa ser utilizado como barreira de engenharia, deve atender aos requisitos descritos na norma ANSN 6.09 “Critérios de aceitação para deposição de rejeitos radioativos de baixo e médios níveis de radiação” (CNEN, 2022), que estabelece parâmetros como resistência à compressão e à tração maiores que 54 MPa e 5 MPa, respectivamente. Com o objetivo de incrementar as propriedades mecânicas do concreto e certificar que ele atinja os requisitos determinados, estuda-se a incorporação de fibras de aço. De acordo com Figueiredo (2011), as fibras de aço têm como função a redução de fissuração e o aumento da ductibilidade do concreto.

Entre os diversos parâmetros analisados em concretos, há grande preocupação em relação a sua durabilidade. Entre os agentes agressivos que provocam degradação, destacam-se os íons sulfatos. Estes são transportados em meio aquoso para o interior do concreto, por agentes como chuva ácida, águas residuais industriais, do subsolo, do esgoto, do mar, e até mesmo águas agrícolas contaminadas por fertilizantes. Os íons reagem com os compostos hidratados do cimento, formando produtos como a etringita tardia que provocam a expansão do material e, consequentemente fissuração, além da perda de resistência mecânica (Gomes, 2022).

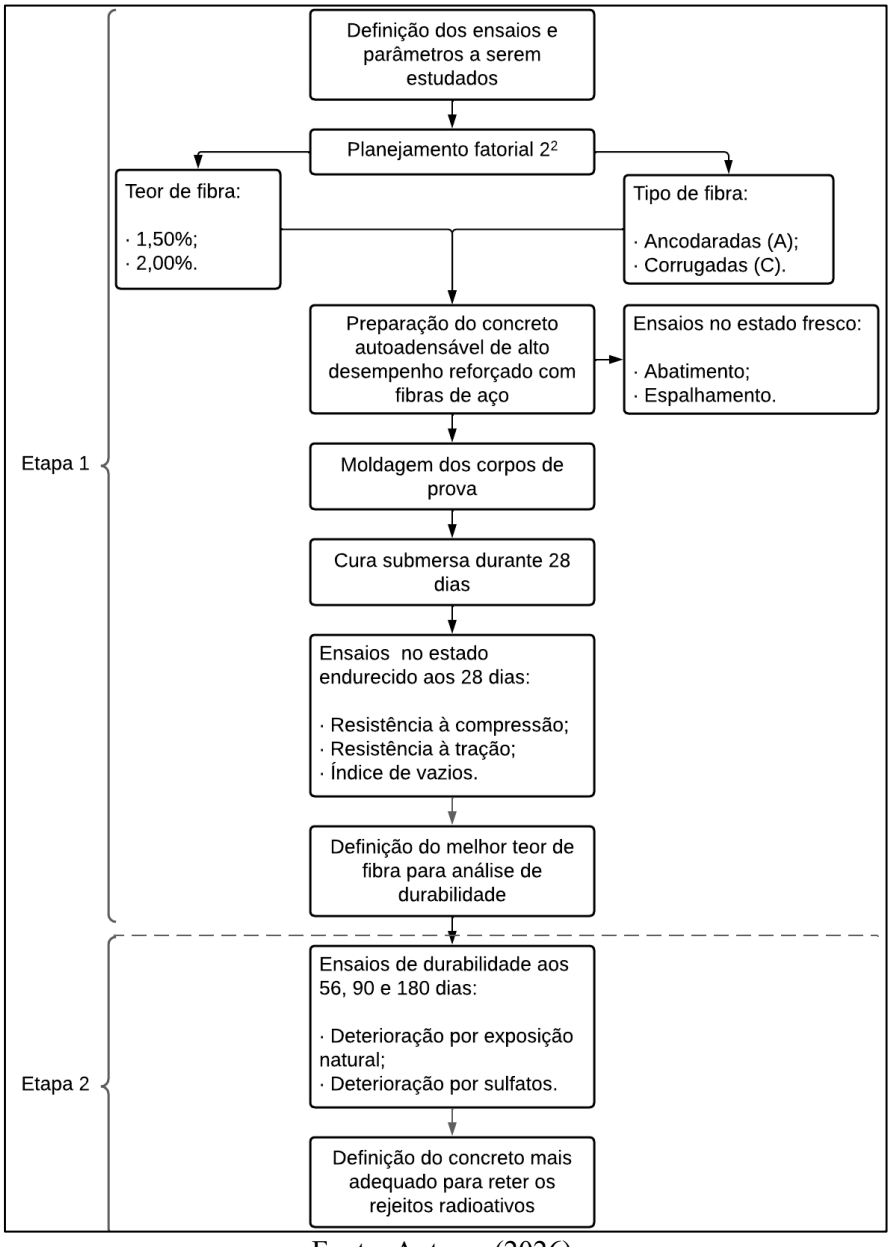
De acordo com IPEN (2025) e CDTN (2024), o depósito final possui operação prevista de 60 anos e vigilância de 300 anos, sendo necessário estudos em relação à durabilidade do concreto no longo prazo. Logo, o estudo deste artigo possui o objetivo de definir o melhor tipo e teor de fibras de aço para a produção de concreto autoadensável de alto desempenho, destinado à fabricação de contêineres. Além disso, busca-se avaliar a durabilidade desse concreto por meio de testes simulando degradação natural e acelerada, com o objetivo de garantir que os rejeitos radioativos sejam armazenados de forma segura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Planejamento dos experimentos

Para a análise de desempenho do concreto autoadensável de alto desempenho reforçado com fibras de aço foi utilizada a metodologia resumida no fluxograma da Figura 1. A pesquisa foi dividida em duas principais etapas: a primeira consistiu nos ensaios de desempenho para determinação do teor de fibras mais adequado e a segunda na análise de durabilidade do concreto.

Figura 1 – Fluxograma resumindo a metodologia utilizada neste trabalho.



Fonte: Autores (2026).

A primeira parte da pesquisa, realizou-se um planejamento fatorial de dois níveis (2^2) em relação ao tipo e teor de fibras. Em relação ao teor de fibras, de acordo com Shimosaka (2017), a adição varia de 0,38% vol. a 2,8% vol., logo optou-se por teores de incorporação intermediários, uma vez

que adições acima de 2,0% podem interferir significativamente na trabalhabilidade do concreto. A partir de estudos realizados por Tavares (2019) e avalição de bibliografia, dentre os diferentes tipos de fibras disponíveis no mercado, foram selecionadas as fibras de aço devido ao alto módulo de elasticidade e ao baixo alongamento na ruptura, atuando como reforço nas idades iniciais do concreto. Assim, analisaram-se dois tipos de fibras de aço, as com ancoragem nas extremidades (A) e as corrugadas (C), em dois teores de incorporação de 1,5% e 2,0%, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Planejamento fatorial completo 2^2.

Fatores		Código da batelada
Tipo de fibra	Teor de fibra	
A	1,5%	CA-1,5
		CA-2,0
C	2,0%	CC-1,5
		CC-2,0

Fonte: Autores (2022).

A partir da análise estatística fatorial, foi realizado um estudo referente à durabilidade do concreto com o teor de fibra de melhor desempenho, para determinação da composição mais indicada para a aplicação da proposta. De acordo com Gomes (2022), para ensaios de durabilidade de concreto em processo de degradação natural ou acelerada, é necessário um tempo longo de análise. Diante disto, foram realizadas análises em três idades diferentes, 56, 90 e 180 dias de ensaio.

2.2 Materiais

Utilizaram-se para cada batelada o cimento CP V – ARI, sílica ativa, areia média, britas 0 e 00, nas seguintes proporções 1:0,10:1,49:1,19:1,19, com fator a/c de 0,30 e 3% de superplastificante (Tavares, 2019). A quantidade das fibras de aço adicionadas à pasta é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Dosagem do concreto autoadensável de alto desempenho reforçado com fibras de aço utilizado.

Material	Quantidade (kg)	Código
Fibra A – 1,5%	1,714	CA-1,5
Fibra A – 2,0%	2,285	CA-2,0
Fibra C – 1,5%	1,714	CC-1,5
Fibra C – 2,0%	2,285	CC-2,0

Fonte: Autores (2022).

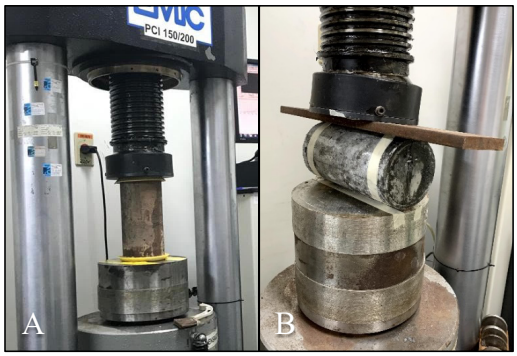
2.3 Ensaios no estado fresco

Por se tratar de um concreto autoadensável, foi realizado também o ensaio de espalhamento, seguindo a norma ABNT NBR 15823-2 “Concreto autoadensável. Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual — Método do cone de Abrams”. Este ensaio permite avaliar a fluidez do concreto em fluxo livre para sua classificação como autoadensável. O ensaio de abatimento foi realizado complementarmente, por ser um ensaio básico de concreto, de acordo com a norma ABNT NBR 16889 “Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”. O método permite determinar a coesão e consistência da massa do concreto ainda fresco, a partir do seu assentamento (ABNT, 2020).

2.4 Ensaios no estado endurecido

Ao final dos ensaios no estado fresco, o concreto foi moldado em corpos de prova cilíndricos seguindo o determinado na norma ABNT NBR 5738 "Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova" (ABNT, 2016). Após as primeiras 24 horas de cura, os corpos de prova foram desmoldados e iniciou-se o processo de cura submersa, durante 28 dias, em solução saturada de $Ca(OH)_2$. Finalizado o período de cura submersa, os corpos de prova foram rompidos para avaliação da resistência mecânica na primeira etapa da pesquisa. Realizaram-se os ensaios de resistência à compressão e à tração por compressão diametral, como apresentado na Figura 2, de acordo com as normas ABNT NBR 5739 "Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos" e ABNT NBR 7222 "Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos", respectivamente (ABNT, 2018; ABNT, 2011).

Figura 2 – Ensaios de rompimentos dos corpos de prova: (A) Resistência à compressão; (B) Resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Autores (2022).

Para a determinação do índice de vazios, foram realizados os ensaios descritos na norma ABNT NBR 9778 "Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica (ABNT, 2009). Inicialmente os corpos de prova foram aquecidos em estufa à 105 ± 5 ºC, durante 72 horas e, ao final, determinou-se a massa seca (m_s). Posteriormente, os corpos de prova foram imersos em água à temperatura ambiente por 72 horas e em seguida, submersos em um recipiente com água em ebulição durante 5 horas. Ao final deste período, aguardou-se o resfriamento natural e pesaram-se os corpos de prova utilizando uma balança hidrostática, obtendo-se a massa saturada da amostra imersa em água após fervura (m_i). Por fim, foi realizada a pesagem das amostras, secas por um pano úmido, obtendo-se a massa saturada após imersão e fervura (m_{sat}). A partir dos resultados calculou-se a porcentagem de índice de vazios do concreto (I_v), utilizando a Equação 1.

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s - m_i} * 100 \quad (1)$$

A partir dos resultados dos ensaios do concreto endurecido foi realizada a análise de variância (ANOVA) para determinação estatística se há ou não semelhança entre as médias dos resultados. Desta análise será determinada se a variação de tipo e teor de fibra tem interferência na formulação, e assim pode-se definir qual o teor mais indicado para os estudos de durabilidade.

2.5 Ensaios para análise de durabilidade

Na Figura 3 apresentam-se os ensaios de degradação, o concreto foi avaliado em relação a sua durabilidade em dois ambientes diferentes, um simulando a degradação natural (A) e o outro simulando a degradação acelerada (B), ou seja, em ambiente agressivo, durante três idades de ensaios previamente definidas, 56, 90 e 180 dias. A exposição natural foi realizada para compreender o comportamento do concreto quando em situação de exposição ao meio ambiente. Os corpos de prova foram colocados em um local limpo no CDTN, livre de interferência humana, sendo exposto continuamente à variação de temperatura e umidade reais. Os ensaios de degradação por íons sulfatos foram realizados adaptando a metodologia utilizada por Pereira (2011), submetendo os corpos de prova à imersão completa em solução de sulfato de sódio de concentração de 5% vol., durante todo o período de ensaio. Ao final realizou-se o ensaio de resistência à compressão de acordo com a norma ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018).

Figura 3 – Ensaios de degradação. (A) Natural. (B) Acelerado em solução de Na_2SO_4.



Fonte: Autores (2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão apresentados primeiramente para classificar o concreto, seguida da avaliação de desempenho mecânico e de durabilidade.

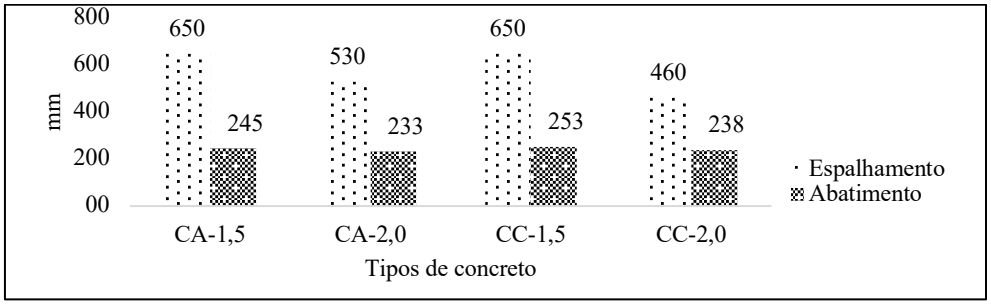
3.1 Classificação do concreto e influência da adição de fibras

No estado fresco foram analisados os resultados dos ensaios de espalhamento e abatimento. Em relação ao ensaio de espalhamento, a norma ABNT NBR 15823-2 apresenta três classificações quanto ao diâmetro do espalhamento: SF1 (de 550 mm a 650 mm) ideal para estruturas pouco armadas; SF 2 (de 660 mm a 750 mm), indicado para a maioria das aplicações; e SF3 (de 760 mm a 850 mm), ideal para estruturas com alta densidade de armadura (ABNT, 2017). Quanto ao abatimento, ABNT NBR 8953 classifica o concreto de acordo com seu abatimento: S10 (de 10 mm a 50 mm), S50 (de 50 mm a 100 mm), S100 (de 100 mm a 160 mm), S160 (de 160 mm a 220 mm) e S220 (acima de 220 mm) (ABNT, 2015).

Na Figura 4 são apresentados os resultados dos ensaios realizados no concreto fresco. Considerando-se a média dos resultados de espalhamento, o concreto é do tipo SF 1. Entretanto, os resultados com teores de 2,0%, variando entre 460 mm e 530 mm, apresentaram menor espalhamento. De acordo com Silva (2010), a presença de teores elevados de fibras interfere diretamente no espalhamento do concreto, sendo este o principal fator identificado. Como apresentado por Shimosaka (2017), a adição de 2,0% se enquadra nos limites superiores de incorporação, interferindo significativamente na trabalhabilidade do concreto. Por outro lado, o abatimento não sofreu este tipo de interferência, apresentando resultados mais homogêneos,

variando entre 233 mm e 245 mm, classificando o concreto como S220. Com os resultados dos dois ensaios o concreto estudado se classifica como autoadensável, ideal para elementos estruturais esbeltos com armaduras, confirmando sua aplicação proposta.

Figura 4 – Média dos resultados dos ensaios de abatimento e espalhamento para cada formulação.



Fonte: Autores (2021).

3.2 Análise de desempenho mecânico do concreto endurecido

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados dos ensaios de resistência mecânica, rompidos aos 28 dias de cura. Para que os concretos estudados possam ser aplicados na retenção dos rejeitos radioativos no sistema de deposição, os valores de resistência à compressão e à tração, devem ser maiores que 54 MPa e 5 MPa, respectivamente. Dos resultados apresentados, os de tração superaram o requisito mínimo, entretanto na compressão, os concretos com teores de 2,0% foram os únicos que atingiram o valor mínimo esperado.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração.

Código do concreto	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)
CA-1,5	53,6	7,88
CA-2,0	63,1	7,95
CC-1,5	46,6	7,88
CC-2,0	56,1	7,34

Fonte: Autores (2022).

Com o objetivo de avaliar o efeito que é estatisticamente significativo nos resultados de resistência à compressão foi realizada uma análise de variância, como apresentado na Tabela 4. Para que o fator tenha interferência estatística significava, o Valor-P deve ser menor que 0,05 (Gomes, 2022). Analisando cada fator, foi observada interferência estatística somente quando há variação do teor de fibras.

Tabela 4 – Análise de Variância do ensaio de resistência à compressão com 95% de confiança.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	2	279,570	139,785	5,47	0,055
Linear	2	279,570	139,785	5,47	0,055
Tipo de fibra	1	98,333	98,333	3,85	0,107
Teor de fibra	**1**	**181,237**	**181,237**	**7,10**	**0,045**
Erro	5	127,660	25,532		
Total	7	407,229			

Fonte: GOMES (2021).

Na Tabela 5 apresenta-se a análise de variância dos resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Diferentemente, nos resultados da resistência à compressão, não foi identificada interferência estatisticamente significativa, uma vez que o Valor-P de todos os fatores foi acima de 0,05, logo todas as médias analisadas são estatisticamente iguais. Portanto, a variação tanto do tipo quanto do teor de fibras, não altera os resultados de tração.

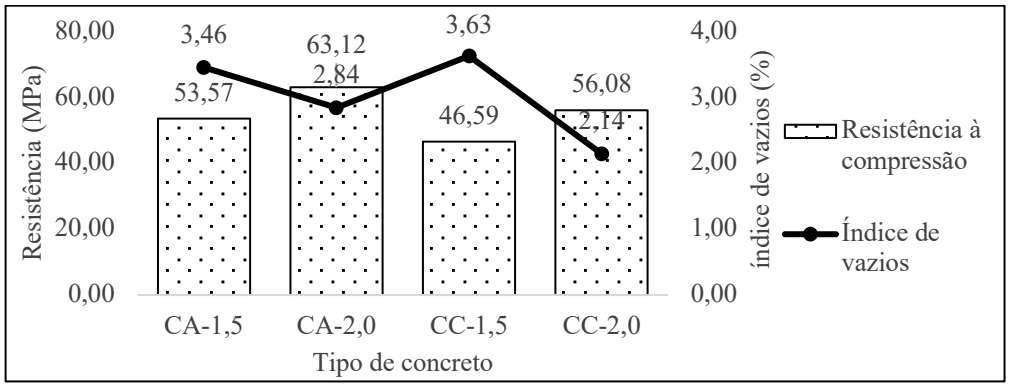
Tabela 5 – Análise de Variância do ensaio de resistência à tração com 95% de confiança.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	**Valor-P**
Modelo	3	0,4825	0,1608	0,38	**0,771**
Linear	2	0,2934	0,1467	0,35	**0,724**
Tipo de fibra	1	0,1000	0,1876	0,45	**0,540**
Teor de fibra	1	0,1058	0,1058	0,25	**0,642**
Interações de 2 fatores	1	0,1891	0,1891	0,45	**0,539**
Tipo*Teor	1	0,1891	0,1891	0,45	**0,539**
Erro	4	1,6768	0,4192		
Total	7	2,1593			

Fonte: GOMES (2021).

De acordo com Tavares (2019) e com os resultados apresentados, a incorporação de fibras não interfere nos resultados de resistência à tração, logo na Figura 5 comparam-se somente os resultados de índice de vazios com os de resistência à compressão. De acordo com Helene e Terzian (1992), para classificar um concreto como durável, seu índice de vazios deve ser abaixo de 10%, sendo assim as quatro formulações analisadas classificam-se como duráveis. Analisando o teor de fibras separadamente, observa-se que em ambos os tipos, quando o teor aumenta para 2,0% há uma diminuição do índice de vazios, sendo este um fator favorável para a resistência mecânica do concreto, uma vez que ocorre aumento nos resultados de resistência à compressão. De acordo com Figueiredo (2011), o teor de fibras interfere de forma significativa na coesão da pasta. Este fator torna-se favorável quando o concreto endurece, auxiliando no empacotamento dos componentes do concreto, e reduzindo a porosidade do material.

Figura 5 – Comparação entre os resultados de resistências à compressão e índice de vazios.



Fonte: Autores (2022).

3.3 Efeito do meio no desempenho do concreto endurecido

Diante dos resultados e análises apresentadas anteriormente, a segunda etapa deste trabalho foi realizada somente com os concretos com maior teor de fibra, 2,0%, variando apenas o tipo de fibra. Ao final das idades de 56, 90 e 180 dias, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão de acordo com a norma ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018).

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da degradação natural, observa-se que todos os concretos apresentaram aumento inicial da resistência, quando comparados aos resultados dos concretos sem degradação, analisados aos 28 dias. Uma das hipóteses, é que este aumento pode ser atribuído às reações contínuas de endurecimento do concreto até 56 dias. Diferentemente, as amostras de 90 dias, independente do tipo de fibra adicionado, apresentaram perda de resistência. Este fenômeno está associado à degradação do concreto pelas intempéries ambientais ao qual estava exposto. O aumento de resistência observado aos 180 dias pode ser atribuído ao fenômeno de cicatrização autógena. De acordo com Freitas *et al*. (2024), os mecanismos mais importantes envolvidos neste fenômeno são a contínua hidratação dos compostos do clínquer ou a carbonatação do hidróxido de cálcio, que possibilita que as fissuras cicatrizem ao longo do tempo, vedando microfissuras, o que pode conferir maior resistência ao concreto.

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão referente à degradação natural.

Tipo de Fibra	Tempo (dias)	Resistência à compressão após degradação natural (MPa)
Ancorada	56	64,60
	90	60,51
	180	73,21
Corrugada	56	82,20
	90	47,81
	180	62,12

Fonte: Autores (2026).

Na Tabela 7 são apresentados os resultados dos ensaios simulando degradação acelerada por sulfatos. Os concretos com fibras corrugadas (CC) apresentaram diminuição da resistência com o tempo, pois de acordo com Melo (2010), há formação de etringita secundária ou tardia no concreto em idades avançadas, devido à reação de monossulfatos no interior do material. O surgimento da etringita tardia pode resultar na expansão dos corpos de prova, aumentando a possibilidade de fissuração do concreto e, consequentemente, perda de resistência. Por outro lado, os corpos de prova com fibras ancoradas (CA) não apresentaram este mesmo comportamento. De acordo com IBRACON (2024), as fibras com ancoragem proporcionam maior aderência à matriz do concreto e por isso, a propagação de fissuras causadas devido à formação de etringitas, é controlada de modo mais eficiente.

Como nesta etapa a diferença entre as formulações é o tipo de fibras, é necessária a análise da distribuição e aderência destas fibras no concreto. O aumento na resistência também pode ser atribuído à cicatrização autógena (Freitas *et al.*, 2024). Os mecanismos de ataque e de recuperação coexistem, visto que as amostras estavam submersas. Avaliando os resultados acredita-se que devido ao controle do aumento de fissuras proporcionado pela fibra ancorada, neste caso o mecanismo de recuperação predominou em relação ao mecanismo de degradação.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão referente à degradação acelerada por sulfatos.

Tipo de Fibra	Tempo (dias)	Resistência à compressão após degradação acelerada (MPa)
Ancorada	56	47,50
	90	60,51
	180	73,21
Corrugada	56	64,80
	90	50,16
	180	34,59

Fonte: Autores (2026).

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram analisados concretos com adição de fibras comparando-se dois tipos, ancoradas e corrugadas, e dois teores, 1,5% e 2,0%. Os ensaios de espalhamento realizados no concreto fresco mostraram que todas as formulações são classificadas como SF1 e os ensaios de abatimento mostraram que o concreto se classifica como S220. Com os resultados dos dois ensaios é possível determinar que o concreto estudado se classifica como autoadensável ideal para elementos estruturais esbeltos com armaduras, confirmando sua aplicação.

Todas as formulações com teor de 2,0% atenderam integralmente aos requisitos de resistência à compressão e à tração maior que 54 MPa e 5 MPa, respectivamente. Entretanto, o mesmo não ocorreu com os concretos com teor de 1,5%. A análise estatística do efeito do teor e do tipo de fibras mostrou que apenas o teor de fibras alterou significantemente a resistência à compressão do concreto, mostrando que o maior teor de fibras conferiu maior resistência. Quanto ao tipo de fibra, a análise estatística mostrou que não há variações significativas nos resultados. Entretanto, observou-se que os concretos com fibras ancoradas apresentaram resultados maiores nos ensaios de resistência à compressão. Em relação aos ensaios de resistência à tração não houve diferença significativa entre os valores, ou seja, a variação no teor e no tipo de fibra estudadas não interferiram na resistência à tração. Nos ensaios de porosidade, todos os concretos estudados apresentaram índice de vazios abaixo de 10%, de acordo com os parâmetros de Helene e Terzian (1992), logo estes concretos são classificados como duráveis.

Acerca dos ensaios de degradação, os concretos com fibras corrugadas apresentaram maior resistência aos 56 dias, em ambas as exposições quando comparados aos concretos produzidos com fibras ancoradas. Entretanto, após seis meses de ensaios, os concretos com fibras ancoradas apresentaram maior resistência, mostrando que no longo prazo eles resistem melhor aos possíveis efeitos deletérios causados pela exposição ambiental e aos íons sulfatos. De acordo com os resultados obtidos, o concreto com teor de 2,0% de fibras ancoradas mostrou-se o mais promissor para o uso nos contêineres de concreto, por apresentar melhores resultados antes e depois dos processos de degradação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear pela infraestrutura oferecida durante a pesquisa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

6. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-2: **Concreto autoadensável. Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual — Método do cone de Abrams**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015. Versão Corrigida: 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: **Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: **Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005. Versão Corrigida 2:2009.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR. **Sobre o CENTENA**. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/cdtn/pt-br/projetos-especiais/centena. Acesso em: 29 de jan. 2026.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. ANSN 6.09: **Critérios de aceitação para deposição de rejeitos radioativos de baixo e médios níveis de radiação.** 11p. Rio de Janeiro, 2002.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal da Expansão Energética 2026**. 2025. Disponível em: https://bibliotecadigital.gestao.gov.br/bitstream/123456789/912/2/Plano%20Decenal%20de%20Energia%202026.pdf. Acesso em: 30 de jan. 2026.

FIGUEIREDO, A. D. DE. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 256 f. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, SP, Brasil, 2011.

FREITAS, E. M. DA S. G. DE; FORMAGINI, S.; GONÇALVES, A. B. **Potencial de cicatrização autógena em concretos com sílica ativa.** Caderno Pedagógico, Curitiba, v. 21, n. 12, p. 01-19, 2024.

GOMES, I. L. F. M. **Estudo da físico-químico do concreto aplicado como barreira de engenharia na deposição de rejeitos**. 119 p. Dissertação de Mestrado (Ciência e Tecnologia das Radiações Minerais e Materiais) – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Entendendo o concreto com fibras.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, [S. l.], ano 7, n. 118, 2024.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **A new era for nuclear energy beckons as projects, policies and investments increase**. 2025. Disponível em: https://www.iea.org/news/a-new-era-for-nuclear-energy-beckons-as-projects-policies-and-investments-increase. Acesso em: 26 fev. 2026.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Equipes da CNEN e do Projeto Centena visitam instalações de armazenamento de rejeitos radioativos em Abadia de Goiás.** 2025. Disponível em: https://ipenfm.ipen.br/post/20602/equipes-da-cnen-e-do-projeto-centena-visitam-instalacoes-de-armazenamento-de-rejeitos-radioativos-em-abadia-de-goias. Acesso em: 28 jan. 2026.

MELO, S. K. **Estudo da formação de etringita tardia em concreto por calor de hidratação do cimento.** 150 p. Dissertação de Mestrado (Geotecnia e Construção Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

PEREIRA, S. S. J. **Desenvolvimento de argamassas contendo resíduos arenosos de mineração e estudos de suas propriedades visando sua utilização.** 145p. Dissertação de Mestrado (Ciência e Tecnologia dos Minerais e Meio Ambiente) – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2011.

SHIMOSAKA, T. J. **Influência do teor de diferentes tipos de fibras de aço em concretos autoadensáveis.** 123 p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Pato Branco, 2017.

SILVA, E. P. **Avaliação do potencial de corrosão de concretos estruturais produzidos segundo as prescrições da NBR 6118, submetido a ensaio de corrosão acelerado.** 54 p. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

TAVARES, B. L. **Contêineres de concreto para acondicionamento de rejeitos radioativos**. 118 p. Dissertação de Mestrado (Ciência e Tecnologia dos Minerais e Meio Ambiente) – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2019.

CAPÍTULO 4 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/vad8rd53
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/02paem69

DURABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EXPOSTAS A AMBIENTES MARINHOS: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Daniel Perin Lichy[1], Maria Emília da Silva Oliveira Araújo[2]*

[1] Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Campinas, Brasil
[2]* Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Campinas, Brasil, emiliajr@gmail.com

RESUMO

A longevidade e o desempenho de estruturas de concreto armado em ambientes marinhos são severamente desafiados pela intensa agressividade desses ecossistemas, sujeitas à ação contínua de fatores como a salinidade da água do mar, ciclos de molhagem e secagem, variações de temperatura, a presença de agentes químicos e biológicos, que criam um cenário propício para a degradação acelerada do concreto. A interação complexa entre o material e o ambiente leva a uma série de patologias que comprometem a segurança, a funcionalidade e a vida útil esperada das edificações e infraestruturas litorâneas. A motivação para este estudo reside na crescente preocupação com a deterioração dessas estruturas em regiões litorâneas, causada pela ação de agentes agressivos como os íons cloreto, que aceleram a corrosão das armaduras metálicas, gerando altos custos de manutenção e recuperação. A metodologia adotada foi de abordagem qualitativa e caráter exploratório e descritivo, com uma pesquisa bibliográfica que foi realizada nas bases de dados *Compendex* e *Scielo*. A revisão da literatura favorece a identificação de lacunas em pesquisas anteriores, contribuindo para a evolução do conhecimento técnico e científico da área, além de fornecer subsídios para decisões de projeto, manutenção e reabilitação de estruturas em zonas costeiras, promovendo maior segurança, economia e sustentabilidade na construção civil.
Palavras-chave: durabilidade; concreto Armado; ambientes marinhos.

ABSTRACT

The longevity and performance of reinforced concrete structures in marine environments are severely challenged by the intense aggressiveness of these ecosystems, subject to the continuous action of factors such as seawater salinity, wetting and drying cycles, temperature variations, and the presence of chemical and biological agents, creating a scenario conducive to accelerated concrete degradation. The complex interaction between the material and the environment leads to a series of pathologies that compromise the safety, functionality, and expected lifespan of coastal buildings and infrastructure. The motivation for this study lies in the growing concern about the deterioration of these structures in coastal regions, caused by the action of aggressive agents such as chloride ions, which accelerate the corrosion of metal reinforcement, generating high

maintenance and recovery costs. The methodology adopted was a qualitative approach of an exploratory and descriptive nature, with a bibliographic search conducted in the Compendex and Scielo databases. Literature reviews help identify gaps in previous research, contributing to the advancement of technical and scientific knowledge in the field, as well as providing support for decisions regarding the design, maintenance, and rehabilitation of structures in coastal areas, promoting greater safety, economy, and sustainability in civil construction.
Keywords: durability, reinforced concrete, marine environments.

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado é amplamente empregado na construção civil devido à sua resistência e versatilidade. No entanto, quando exposto a ambientes marinhos, sua durabilidade pode ser severamente comprometida pela presença de agentes agressivos, como os íons cloreto, que penetram no concreto e aceleram o processo de corrosão das armaduras metálicas. Esse fenômeno representa uma das principais causas de degradação em estruturas situadas em regiões litorâneas (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A deterioração dessas estruturas gera impactos significativos, especialmente no que diz respeito aos altos custos com manutenção e recuperação ao longo da vida útil das edificações. Por esse motivo, cresce o interesse técnico e científico em compreender os mecanismos de deterioração e em desenvolver estratégias para prolongar a durabilidade das estruturas submetidas à ação do ambiente marinho. (TUUTTI, 1982).

Do ponto de vista financeiro, os custos associados à reparação de estruturas degradadas são significativos. Estudos indicam que a substituição do aço sem revestimento por aço galvanizado em estruturas de concreto armado pode aumentar o custo inicial da obra em até 2,8%. No entanto, essa medida resulta em uma redução significativa nos custos de manutenção ao longo da vida útil da estrutura, representando uma estratégia viável para prolongar a durabilidade e diminuir gastos com recuperação ao longo do tempo. (ABDALA *et al.*, 2014).

No campo acadêmico e científico, a realização de uma revisão sistemática da literatura permite identificar os principais mecanismos de degradação, como a penetração de cloretos e a carbonatação, além de compilar os métodos de prevenção e controle mais frequentemente aplicados. O estudo de Lopes *et al.* (2022), destacou a importância de modelos preditivos de durabilidade para estruturas expostas a ambientes agressivos, com foco na fase de iniciação da corrosão e nos parâmetros que influenciam a vida útil das construções.

Nesse contexto, o presente trabalho conduz uma revisão sistemática da literatura sobre a durabilidade de estruturas de concreto armado em ambientes marinhos. Através da análise de estudos científicos, busca-se identificar os principais fatores de degradação, as estratégias de mitigação utilizadas e as lacunas de conhecimento existentes, contribuindo para o avanço técnico da engenharia civil.

2. METODOLOGIA

Para a realização do levantamento bibliográfico foi conduzida uma ampla pesquisa bibliográfica, contemplando artigos disponibilizados em periódicos nacionais e internacionais. As coletas dos dados foram realizadas pesquisas nas bases de dados Compendex e Scielo. As palavras chaves selecionadas foram " durabilidade “, “concreto armado " e “ambiente marinho ", que foram

combinadas das mais variadas maneiras possíveis dentro das bases de dados, o intervalo de tempo utilizado para as pesquisas foi dos últimos 5 anos, onde no total foram encontrados 348 documentos.

Após a leitura dos títulos e resumos dos arquivos encontrados, buscando-se identificar os estudos que englobassem os fenômenos que afetam a durabilidade das estruturas de concreto armado presentes em ambientes marinhos, como houve muitos resultados encontrados, decidiu-se a escolha de 6 (seis) artigos, que foram analisados como os mais condizentes com os parâmetros explicados anteriormente.

Os critérios de escolha levaram em consideração os artigos que enfatizaram os fenômenos que afetam a durabilidade das estruturas de concreto armado presentes em ambientes marinhos, contemplando as palavras-chaves definidas para a pesquisa, além do recorte do tempo sendo considerados os últimos 5 anos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento do trabalho foi fundamentado em publicações que englobam os fenômenos que afetam a durabilidade das estruturas de concreto armado presentes em ambientes marinhos, as publicações. O levantamento bibliográfico foi realizado a partir de publicações disponíveis nas plataformas Compendex, e Scielo, com período de publicação de 2020 a 2025. Os artigos selecionados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Artigos selecionados

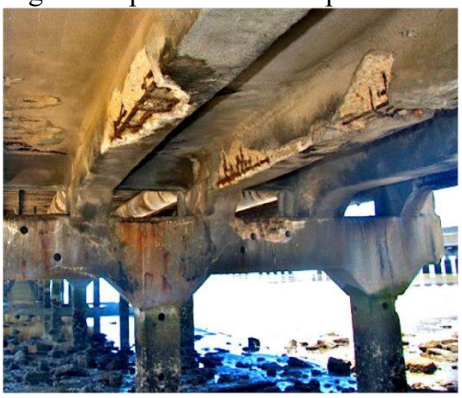
Artigo	Título	Autores	Ano	Periódico
A1	Durability of reinforced concrete bridges in marine environments	Melchers, Chaves	2020	Compendex
A2	Characteristics of pitting corrosion in an existing reinforced concrete beam exposed to marine environment	Zhao *et al.*	2020	Compendex
A3	Field test of a reinforced concrete bridge under marine environmental corrosion	Zhou *et al.*	2020	Compendex
A4	Comparative Study on the Durability of Pile, Beam and Slab Reinforced Concrete Structure in Marine Environment	Zhang *et al.*	2021	Compendex
A5	Modelos de estimativa do grau de saturação do concreto a partir das variáveis ambientais aplicados à análise de confiabilidade de estruturas de concreto armado atacadas por íons cloreto	Favretto *et al.*	2021	Scielo
	A fully coupled depth-dependent corrosion model for reinforced			

A6	concrete piles under marine environmental conditions	Annamalaisamy Sannasiraj *et al.*	2025	Compendex

Fonte: os autores.

O artigo A1 aprofundou-se na compreensão dos mecanismos de corrosão do reforço, baseando-se em observações detalhadas em 2 pontes localizadas na Austrália. Melchers e Chaves (2020) contestam o modelo convencional de corrosão, enfatizando a importância da perda de alcalinidade do concreto como o principal fator para a corrosão ativa a longo prazo, com implicações significativas para a previsão da vida útil e inspeções. Foram detalhadas experiências de campo, como o estudo da ponte Hornibrook Highway, onde as estacas de concreto de alta qualidade (Classe A) mostraram pouca corrosão após décadas, enquanto os travessões (Classe B, com menor teor de cimento) apresentavam degradação significativa. Um achado crucial foi a corrosão severa e localizada em uma estaca com fissura transversal, onde houve perda total do aço sem sinais visíveis de corrsão, devido ao lixiviamento de cloretos ferrosos solúveis (Figura 1).

Figura 1 - Aspecto geral da parte inferior da ponte Hornibrook Highway

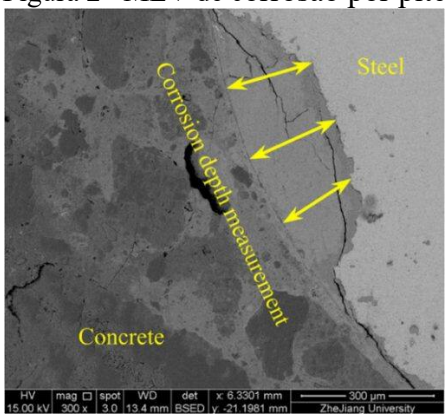


Fonte: Melchers; Chaves (2020)

Casos análogos na ponte Sorell Causeway e em barcaças de munição reforçaram a insuficiência da inspeção visual para detectar corrosão interna grave. A pesquisa conclui que a corrosão das armaduras está mais relacionada à perda de alcalinidade do concreto (redução do pH) do que diretamente à presença de cloretos. Concretos de alta qualidade mantêm pH elevado por décadas, retardando a corrosão. Fissuras são um fator crítico, pois permitem redução localizada do pH e corrosão acelerada. Em alguns casos, ocorre corrosão severa sem sinais visuais evidentes, devido à formação de compostos solúveis. Os autores propuseram investigar mais a fundo os potenciais benefícios da utilização de calcário ou dolomitas não reativas como agregados para concreto.

A pesquisa A2, Zhao *et. al.* (2020), analisaram detalhadamente as características e a morfologia de dois tipos distintos de corrosão por pites – o pite largo-raso e o pite estreito-profundo – encontrados em uma viga de concreto armado que esteve exposta a um ambiente marinho por quarenta anos. Este estudo é particularmente relevante por sua abordagem empírica sobre a morfologia, a distribuição e o desenvolvimento da corrosão localizada em estruturas reais e em serviço. Foi realizado uma investigação minuciosamente dos espécimes da viga, proveniente de uma edificação de 1970 na costa chinesa, onde foi identificada a correlação entre a distribuição dos pites de corrosão e a presença de defeitos no concreto, como fissuras na interface agregado-pasta. O programa experimental envolveu uma cuidadosa preparação de amostras, com aplicação de resina epóxi para preservar o estado original e subsequente corte em fatias para observação via microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Figura 2).

Figura 2 –MEV de corrosão por pite

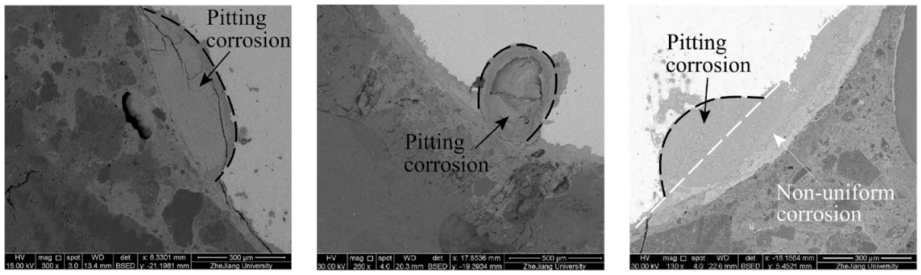


Fonte: Zhao *et. al.* (2020)

Os resultados experimentais são notáveis por identificarem e classificarem dois tipos distintos de pites de corrosão: o pite largo-raso e o pite estreito-profundo. Os autores propuseram e validaram um modelo elíptico para descrever a forma desses pites no sistema de coordenadas polares, apresentando um bom ajuste aos dados experimentais (R^2 médio de 0,832). Além disso, observou-se que o pite largo-raso se desenvolve mais em largura, enquanto o estreito-profundo se aprofunda mais significativamente com o avanço da corrosão (Figura 3).

Em conclusão foi demonstrado que os pites de corrosão são frequentemente iniciados próximos a falhas estruturais ou defeitos no concreto, e que a morfologia desses pites, possui implicações diretas nas taxas de desenvolvimento e no fator de pite. Com o desenvolvimento da corrosão do aço, o crescimento da largura no topo da cavidade é mais rápido do que a profundidade da cavidade larga e rasa, enquanto a tendência de evolução para a cavidade estreita e profunda é inversa.

Figura 3 - Características da corrosão de pites: (a) pite largo-raso, (b) pite estreito-profundo e (c) corrosão por pite de formato largo-raso e corrosão não uniforme.



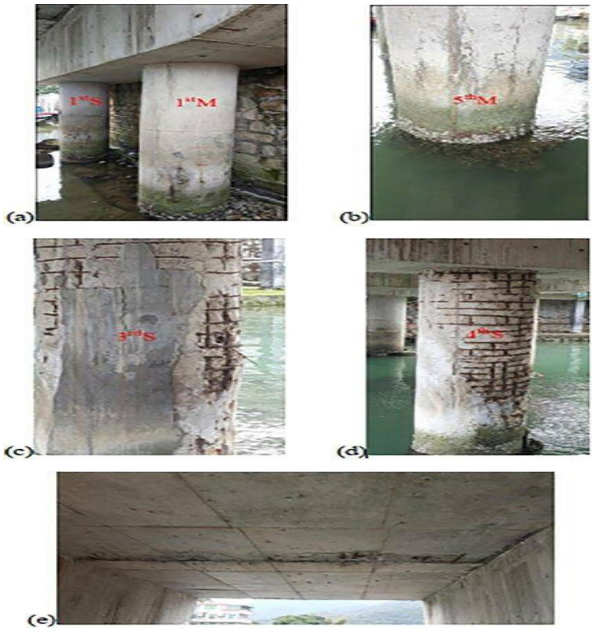
Fonte: Zhao *et. al.* (2020)

Na pesquisa realizada no artigo A3, foi realizado um estudo de caso aprofundado sobre a falha de uma ponte de concreto armado localizada na província de Guangdong na China, que operou por mais de 20 anos em ambiente marinho agressivo. Este estudo oferece dados empíricos cruciais sobre a durabilidade e o desempenho de estruturas em condições extremas, sendo de grande relevância para a compreensão da degradação de elementos estruturais. Zhou et. al. (2020) detalharam o perfil e os danos por corrosão da ponte numa amostra de 29 barras de aço corroídas e 13 estribos corroídos, coletados da ponte, também são investigados quanto à perda de massa por corrosão e ensaios mecânicos em laboratório (Figura 4).

A forte corrosão nas armaduras, com perda de seção e até ruptura de estribos, as propriedades mecânicas do aço degradam com o aumento da corrosão, a resistência do concreto permaneceu relativamente estável e, por fim, a ponte foi classificada como inadequada (BCI ≈ 62,9) e demolida.

A investigação, realizada em 2011 e 2014, revelou corrosão severa nos pilares, com mais de 85% do cobrimento de concreto fissurado ou destacando-se. Apesar da degradação visual, a resistência à compressão do concreto permaneceu relativamente estável ao longo do tempo (aproximadamente 55 MPa na laje e 39 MPa no pilar), enquanto a profundidade de carbonatação aumentou ligeiramente entre 2011 e 2014. Medições de potencial de corrosão indicaram probabilidade de atividade corrosiva em algumas áreas (Figura 4).

Figura 4 - Componentes da ponte: (a) 1º pilar; (b) 5º pilar; (c) 3º pilar; (d) 4º pilar; (e) Laje da ponte.



Fonte: Zhou *et. al.* (2020)

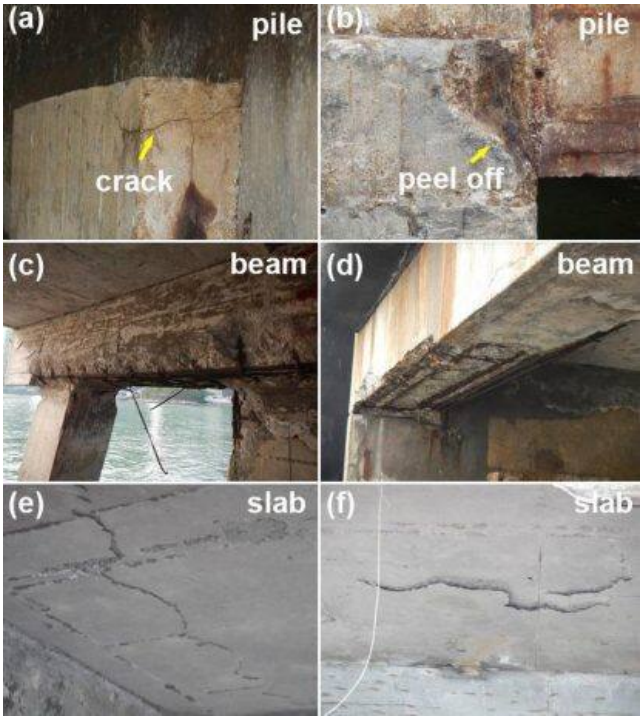
As implicações dessas descobertas permitem analisar a relação direta entre a exposição ambiental, a penetração de cloretos e a degradação das propriedades mecânicas das armaduras. A constatação da perda significativa de ductilidade é crucial para a discussão sobre a segurança estrutural e o risco de falhas frágeis em estruturas corroídas. Adicionalmente, a análise da ponte, construída antes de códigos de durabilidade mais rigorosos, sublinha a importância de considerar questões de durabilidade em projetos de engenharia civil e a necessidade de atualização de normas.

No artigo A4, os autores investigaram uma estrutura de cais real, em serviço há 20 anos, para entender os padrões de degradação devido à corrosão atmosférica, penetração de cloretos e fadiga de carga. A pesquisa trouxe uma visão prática da deterioração de componentes estruturais específicos em condições reais, permitindo comparações com dados de laboratório ou modelos teóricos (Figura 5).

Adicionalmente, foi medida a espessura do cobrimento do concreto, o potencial de corrosão da armadura por método de semicélula, o teor de cloretos no concreto em diferentes profundidades, e

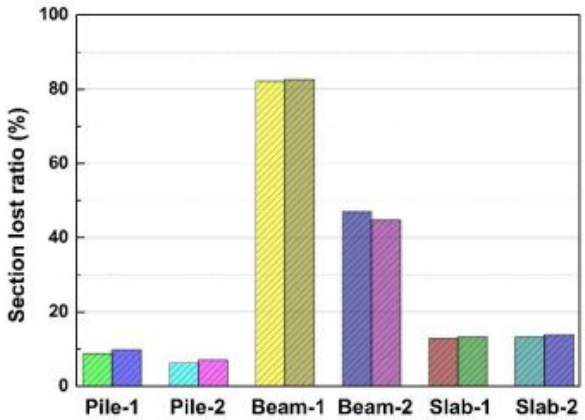
a perda de seção do vergalhão por análise microscópica. Os resultados revelaram graus distintos de deterioração: lajes estavam em sua maioria intactas, enquanto pilares mostraram 52,38% de degradação. As vigas apresentaram a pior performance, com 100% de degradação superficial, falha no cobrimento e armadura exposta. A penetração de cloretos foi mais acentuada nas vigas, excedendo a concentração crítica. A corrosão do vergalhão foi evidente em todos os elementos, sendo mais crítica em pilares e, especialmente, nas vigas, onde a perda de seção do aço ultrapassou 80%, indicando grave comprometimento mecânico.

Figura 5 - Morfologias superficiais de esruturas em ambiente marinho durante 20 anos.



Fonte: Zhang *et. al.* (2021)

Figura 6 - A relação comparativa de perda de seção transversal do aço em estruturas de estacas, vigas e lajes.



Fonte: Zhang *et. al.* (2021)

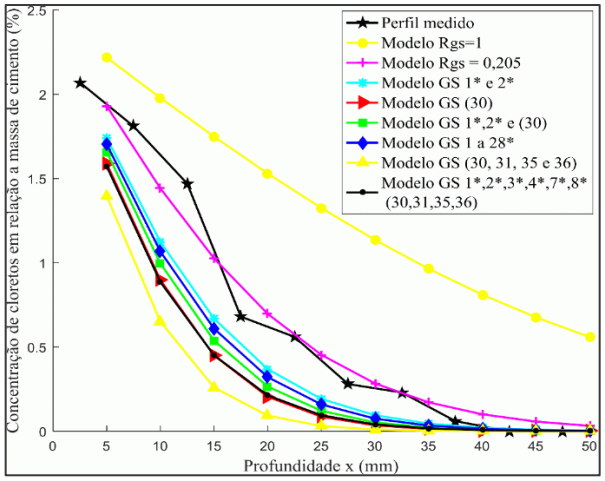
Zhang et. al. (2021), concluíram que a estrutura de concreto do cais, após 20 anos em ambiente marinho, sofreu corrosão severa. Eles destacaram que a estrutura da viga exibiu o pior desempenho em todas as frentes avaliadas: aparência superficial, cobrimento do concreto, penetração de cloretos e corrosão do aço, em comparação com os pilares e as lajes. A principal implicação desta conclusão é a necessidade crítica de um projeto de proteção adicional contra corrosão, especificamente para as vigas, a fim de garantir a consistência da vida útil de todo o cais.

O artigo A5 abordou a complexidade da durabilidade de estruturas de concreto armado em ambientes marinhos. Os autores se dedicam a investigar a corrosão de armaduras induzida por íons cloreto, destacando a influência crucial do grau de saturação (GS) do concreto no coeficiente de difusão de cloretos (Figura 7). Dada a dificuldade e o custo de medir o GS in situ, o estudo propõe o desenvolvimento de modelos de estimativa do GS baseados em variáveis ambientais, aplicando-os à análise probabilística da vida útil dessas estruturas.

O processo de difusão de íons cloreto, regido pela 2ª Lei de Fick, é fortemente influenciado pelo grau de saturação (GS) do concreto. Para investigar isso, a metodologia experimental incluiu a exposição de corpos de prova de concreto em Rio Grande (Brasil) e Santa Pola (Espanha), a coleta de dados meteorológicos e a aplicação de análise de correlação e regressão linear múltipla para criar modelos de estimativa do GS. A avaliação da vida útil é realizada utilizando a teoria da confiabilidade e simulações de Monte Carlo, considerando o atingimento do teor crítico de cloretos na armadura como o Estado Limite de Serviço (ELS) (Figura 8).

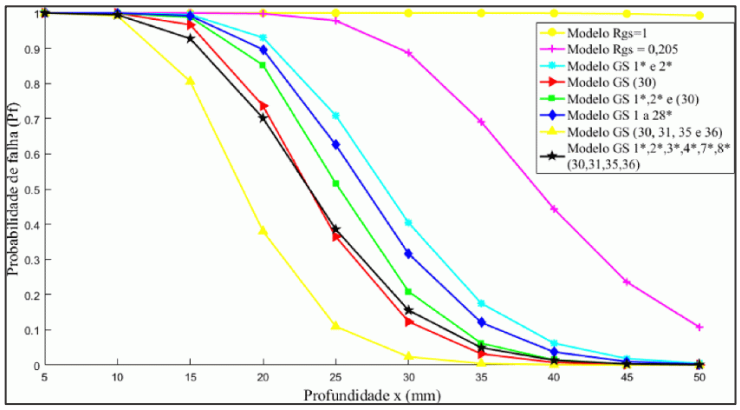
Nas conclusões, Favretto *et. al.* (2021) sintetizam que é possível obter boas estimativas do grau de saturação a partir de variáveis meteorológicas, sendo os modelos de regressão linear múltipla com médias sazonais os mais eficazes. Eles destacam a natureza local do comportamento do GS, que variam tanto entre macroambientes distintos quanto dentro de um mesmo microambiente, influenciado por fatores como a distância da costa. A pesquisa reforça a relevância do uso do GS na avaliação da vida útil de estruturas de concreto armado expostas a cloretos, alertando que a suposição de concreto saturado pode levar a probabilidades de falha irrealisticamente elevadas.

Figura 7 - Perfis de penetração de cloretos obtidos da simulação de cada modelo proposto e perfil medido por GUIMARÃES.



Fonte: Favretto *et. al.* (2021)

Figura 8 - Probabilidade de falha dos modelos utilizados na simulação para diferentes cobrimentos.



Fonte: Favretto *et. al.* (2021)

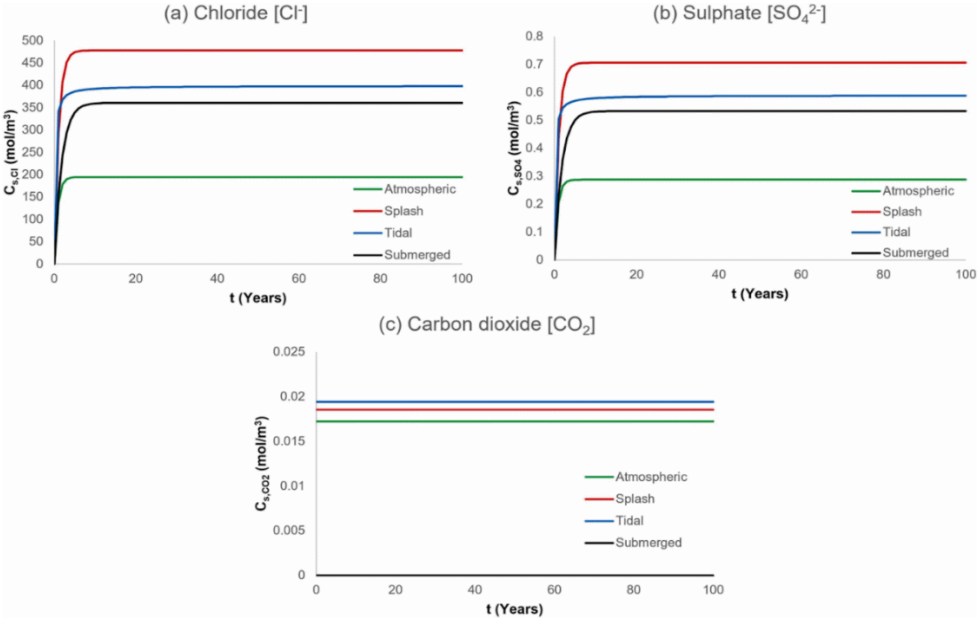
O artigo A6, que aborda a necessidade crítica de modelagem abrangente para mitigar riscos e aumentar a segurança estrutural de estacas de concreto armado em condições marinhas. O estudo desenvolve um modelo de corrosão reativa multi-íons totalmente acoplado e dependente da profundidade (MiRC), fundamentado na teoria poroelástica, para capturar as interações de íons cloreto, sulfato e carbonatação nas distintas zonas de exposição marinha: atmosférica, respingos, maré e submersa.

Annamalaisamy Sannasiraj *et. al.* (2025) apresentam seu detalhado modelo de corrosão reativa multi-íon (MiRC), que prevê a Vida Útil Residual simulando a degradação acoplada do concreto e do reforço. Este modelo descreve os mecanismos de corrosão do concreto e detalha as leis de ação de massa para cloreto, sulfato e carbonatação, incorporando equações governantes para conservação de massa, variação de porosidade dependente do tempo e difusão reativa com interação iônica competitiva. A despassivação do reforço de aço, devido a cloretos e carbonatação, é explicada, e a RSL é estimada com base em um critério de perda de 10% da área transversal do reforço (Figura 9). O estudo modela uma estaca circular de concreto armado, especificando propriedades de material e definindo condições de contorno dependentes do tempo para as concentrações superficiais de cloreto, sulfato e dióxido de carbono nas quatro zonas marinhas.

Os resultados do estudo validam o modelo MiRC com dados experimentais de campo, confirmando a zona de respingos como a mais vulnerável, enquanto a zona atmosférica demonstrou ser a menos suscetível à deterioração. Análises paramétricas revelaram que o aumento do diâmetro da barra de reforço melhora significativamente a vida útil (um aumento de 4 mm pode estendê-la em 15-20%), e a redução da porosidade do concreto, por exemplo, através do uso de concreto de alto desempenho (HPC), pode prolongar a vida útil em até 80%.

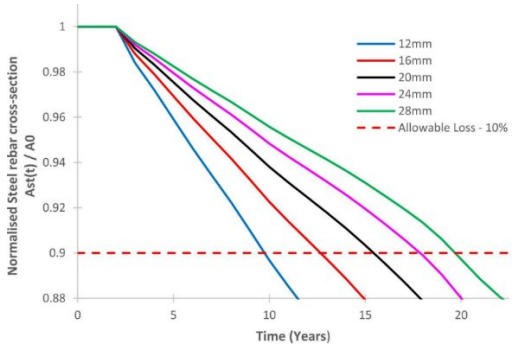
O aumento da espessura do cobrimento também contribui, de forma mais moderada (8-10% a cada 10 mm adicionais). Uma análise de sensibilidade indicou que a porosidade do concreto é o fator mais influente, seguido pelo tamanho da barra de reforço e pela profundidade do cobrimento. A discussão ressalta a inovação do modelo MiRC em integrar os efeitos de múltiplos íons e as concentrações superficiais variáveis no tempo, destacando a necessidade de estratégias de durabilidade integradas (Figura 10).

Figura 9 - Concentração aparente na superfície (Cs) em diferentes zonas marinhas: Cloreto (a), Sulfato (b), Dióxido de carbono (c).



Fonte: Annamalaisamy Sannasiraj *et. al.* (2025)

Figura 10 - Influência das dimensões das barras de reforço na perda por corrosão da armadura.



Fonte: Annamalaisamy Sannasiraj *et. al.* (2025)

As conclusões dos autores reforçam a criticidade da zona de respingos e a eficácia de uma abordagem combinada: concreto de porosidade reduzida, barras de reforço otimizadas e aumento da espessura do cobrimento podem substancialmente aumentar a durabilidade e longevidade das estruturas de concreto armado. Este estudo fornece uma estrutura robusta para a compreensão da degradação multifatorial e dependente da profundidade.

4. CONCLUSÕES

Os principais achados da pesquisa propõem uma nova interpretação do mecanismo de corrosão, centrada na alcalinidade do concreto. Além da demonstração que cloretos têm papel indireto, contrariando modelos tradicionais. Há evidencia da baixa confiabilidade de inspeções visuais para diagnóstico de corrosão.

A pesquisa destaca a importância da qualidade do concreto (baixa porosidade e alto teor de cimento) para durabilidade, apontando implicações práticas para avaliação da vida útil de pontes, demonstra que defeitos no concreto controlam a localização da corrosão e contribuição para modelagem da perda de resistência e previsão de falhas frágeis e avaliação de segurança e decisão de demolição/reabilitação.

Os artigos demonstraram que os modelos práticos para estimativa do grau de saturação do concreto, com a integração de variáveis ambientais à análise de durabilidade e vida útil. Demonstra a importância do GS na difusão de cloretos, frequentemente negligenciada, introduzindo uma abordagem probabilística (confiabilidade estrutural) na análise da durabilidade de concretos. E permite reduzir custos e tempo, substituindo medições diretas por modelos preditivos.

REFERÊNCIAS

ABDALA, L.; ALBAGLI, D.; OLIVAN, L. I.; SCANDIUZZI, L. Estudo comparativo de custos para estruturas de concreto armado usando vergalhão comum ou de aço galvanizado. In: INTERCORR, 2012, Fortaleza. **Anais**.... Fortaleza, 2012.

ANNAMALAISAMY SANNASIRAJ, D. R.; SHUANGMIN, S.; LIU, X.; GRYLLIAS, K.; C D, VANDEPITTE, D.; CHRONOPOULOS, D.; ZHANG, L. A fully coupled depth-dependent corrosion model for reinforced concrete piles under marine environmental conditions. **Construction and Building Materials**, Volume 472, 18 April 2025, 140795.

FAVRETTO, F.; MAGALHÃES, F. C.; GUIMARÃES, A. T. C.; CLIMENT, M. A.; REAL, M. V. Modelos de estimativa do grau de saturação do concreto a partir das variáveis ambientais aplicados à análise de confiabilidade de estruturas de concreto armado atacadas por íons cloreto. Artigos • **Matéria** (Rio J.) 26 (03) • 2021.

LOPES, R. C.; OLIVEIRA, A. M.; CASCUDO, O. Modelos preditivos de vida útil de estruturas de concreto sujeitas à iniciação da corrosão de armaduras por cloretos: contribuição ao estado da arte por meio de revisão sistemática da literatura–Parte 1. **Matéria (Rio de Janeiro),** v. 27, n. 2, p. e202244821, 2022.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MELCHERS, R. E; CHAVES, I. A. Durability of reinforced concrete bridges in marine environments. **Structure and Infrastructure Engineering,** v. 16, n. 1, p. 169- 180, 2020.

TUUTTI, K. Corrosion of steel in concrete. **Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute**, 1982.

ZHANG, D.; XIONG, J.; WANG, S.; WU, Q.; SHI, H. Comparative Study on the Durability of Pile, Beam and Slab Reinforced Concrete Structure in Marine Environment. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,** v. 719, n. 2, 2021.

ZHOU, H.; CHEN, S.; DU, Y.; LIN, Z.; LIANG, X.; LIU, J.; XING, F. Field test of a reinforced concrete bridge under marine environmental corrosión. **Engineering Failure Analysis**. Volume 115, September 2020, 104669.

CAPÍTULO 5 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/ew7h2214
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/h006bz19

EFEITOS DA CARBONATAÇÃO ACELERADA NO CIMENTO SUPERSULFATADO FORMULADO COM GIPSITA CALCINADA

Isabel Crisitna Magro[1]*, Fernanda Frason Moreira[2]; Caroline Angulski da Luz[3]
*Autor de contato: isabelmagro@alunos.utfpr.edu.br

[1] PPGEC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil

RESUMO

O cimento supersulfatado (CSS) é um material hidráulico produzido a partir da escória de alto forno, sulfato de cálcio e ativador alcalino. As matérias primas podem ser oriundas de resíduos de outras indústrias o que o caracteriza como um material de baixo impacto ambiental. A durabilidade é uma característica necessária para qualquer matriz cimentícia, para garantir que as propriedades físicas e químicas se mantenham por mais tempo. A ocorrência da carbonatação em concretos reduz a durabilidade do material, pois causa despassivação das armaduras e perda de resistência da matriz cimentícia. Este estudo comparou o comportamento à carbonatação acelerada de formulações de CSS produzidos com escória de alto forno e gipsita calcinada em relação ao Cimento Portland (CP). Foram realizados ensaios de resistência à compressão, profundidade de carbonatação e análises de microestrutura. Os resultados mostram que o CSS sofre uma frente de carbonatação 5 vezes maior que no CP. Ensaios mecânicos comprovam a perda de resistência com o passar do tempo e as análises de microestrutura apresentam a decomposição de produtos de etringita e CSH da matriz em precipitação de carbonatos de cálcio. Concluindo assim que o CSS apresenta alta suscetibilidade ao processo de carbonatação perdendo significativamente suas propriedades físico-químicas.
Palavras-chave: cimento supersulfatado; carbonatação acelerada; durabilidade.

ABSTRACT

Supersulfated cement (SSC) is a hydraulic binder produced from blast furnace slag, calcium sulfate, and an alkaline activator. These raw materials can originate from industrial by-products, characterizing SSC as a low environmental impact material. Durability is an essential property of any cementitious matrix, ensuring the long-term preservation of its physical and chemical characteristics. Carbonation in concrete reduces material durability, as it leads to depassivation of reinforcing steel and loss of strength of the cementitious matrix. This study compared the behavior under accelerated carbonation of SSC formulations produced with blast furnace slag and calcined gypsum to that of Portland cement (PC). Compressive strength tests, carbonation depth measurements, and microstructural analyses were performed. The results showed that SSC exhibited a carbonation front approximately five times deeper than that observed in PC. Mechanical tests confirmed a progressive loss of strength over time, while microstructural analyses indicated decomposition of ettringite and C–S–H accompanied by precipitation of calcium carbonates. It can

therefore be concluded that SSC presents high susceptibility to carbonation, with significant degradation of its physicochemical properties.
Keywords: Supersulfated cement; accelerated carbonation; durability.

1. INTRODUÇÃO

O Cimento Supersulfatado (CSS), é um material baseado totalmente nas propriedades hidráulicas da escória de alto forno. Ele é composto de 80 a 85% de escória, somado a 10 ou 15% de sulfato de cálcio e 5% de um ativador alcalino para a mistura. A escória é um subproduto da indústria de produção do ferro gusa, que já é utilizado como adição de substituição parcial do clínquer no Cimento Portland (CP), entretanto, ainda não é utilizada em todo seu potencial na indústria do cimento. (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Devido ao grande impacto ambiental do cimento Portland, muito discutido no mundo, o CSS passou a estar novamente em evidência, por possibilitar vantagens, entre elas: a de atenuar a demanda por matérias primas naturais; reduzir até 90% as emissões de CO_2 da indústria cimenteira para a atmosfera e diminuir a quantidade de energia necessária para produzir um material aglomerante. (GRUSKOVNJAK et al. 2008).

A durabilidade do concreto e dos compósitos de cimentos é uma propriedade essencial. E se os materiais estruturais não forem capazes de suportar algumas condições de possível degradação, diminuirá drasticamente a vida útil tanto funcional como estrutural dessa obra (BRANCO, GARRIDO e PAULO; 2013). Portanto os estudos de durabilidade nesses novos materiais são extremamente relevantes para seu desenvolvimento.

A carbonatação é uma reação química que acontece entre o CO_2, presente na atmosfera, e os compósitos da hidratação do cimento, que acaba por reduzir o pH da solução dos poros do concreto e com isso pode dar início ao processo de corrosão das armaduras do concreto armado (PAULETTI, 2004). A intensificação da frente de carbonatação do concreto se correlaciona com a capacidade que o CO_2 encontra para se difundir na matriz cimentícia, ou seja está intimamente ligada às condições ambientais e às propriedades do composto de cimento (PAULETTI; POSSAN; DAL MOLIN, 2007).

Desse modo, a questão norteadora desse trabalho é avaliar a durabilidade da matriz cimentícia do CSS sob a ação da carbonatação, comparando seus resultados em relação a cimento Portland tipo IV, e como os teores de sulfato de cálcio nas formulações de CSS influenciam na matriz cimentícia sob essas condições.

2.METODOLOGIA

2.1 Materiais

2.1.1 Escória de alto forno

Foi utilizado a escória de alto forno já moída com uma massa específica de 2,83g/cm³ e superfície específica de 4460 cm²/g. Atende as especificações da EN 15743: 2010, como a soma CaO+MgO+SiO2 é maior do que 66,7 e a relação CaO+MgO/SiO2 é maior do que 1, podendo ser utilizada para o CSS. A porcentagem de 13,3 % de Al2O3 favorecendo uma maior formação de

etringita na matriz do cimento nas primeiras idades. Na Quadro 1 está presente a composição do material.

2.1.2 Sulfato de cálcio

A origem da fonte de sulfato de cálcio utilizada é produto do processo da calcinação da gipsita moída de fórmula química $CaSO_4.2H_2O$. Foi necessário ainda peneirar o material em peneira com malha de 150 µm e realizar o processo de calcinação em temperatura de 650°C por 60 minutos e taxa de aquecimento de 50°C/min. Após a calcinação a gipsita para a sua forma de sulfato de cálcio, sem a presença de água. A composição química desse material é apresentada Quadro 1.

2.1.3 Ativador alcalino

O ativador utilizado para fazer parte das formulações de CSS é o CP V ARI da marca Itambé. As características físicas como massa específica, superfície específica e a composição química desse material são informados no Quadro 1.

2.1.4 Cimento Portland – IV 32 RS

O cimento CP IV 32 RS da marca Itambé, foi utilizado para ser a formulação de referência para comparação com as formulações de cimento supersulfatado. A composição dele é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Composição química dos materiais em teor %

Elementos	Escória	Sulfato de Calcio	Ativador alcalino (CPV)	CP IV – 32 RS
SiO_2	31,3	0,2	19,32	23,39
Fe_2O_3	0,7	0,1	3,07	4,18
Al_2O_3	13,3	0,2	4,58	9,89
CaO	42,8	28,7	61,86	44,91
SO_3	2,6	59,4	3,05	2,12
MgO	4,8	0,5	1,97	2,1
CaO livre			0,82	0,68
K_2O	0,4	0,1		
Na_2O	0,6	1,0		
Perda ao fogo	2,6	9,9		4,77
Resíduo insolúvel			0,93	25,51
Adições inorgânicas do processo	6			
Equivalente alcalino			0,69	1,2
Massa Específica	2,83 g/cm³		3,09 g/cm³	2,84 g/cm³
Superfície específica (Blaine)	4460 cm²/g		4405 cm²/g	4259 cm²/g

Fonte: os autores.

2.1.5 Agregados miúdo e graúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia natural e submetido ao ensaio de granulometria de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). O módulo de finura é igual a 1,61, diâmetro máximo de 1,2 mm e massa específica igual a 2,51g/cm³.

O agregado graúdo utilizado foi a brita basáltica nº 0 e submetido ao ensaio de granulometria de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Ela possui módulo de finura igual a 5,59, diâmetro máximo de 9,5 mm e massa específica igual a 2,95g/cm³.

2.2 Pasta e Concretos

Para comparação com a referência de CP IV RS, foram definidas duas formulações de CSS: 80.20 G (80% de escória e 20% de gipsita) e 90.10 G (90% de escória e 10 % de gipsita), ambos com teores de 5% de ativador alcalino. As pastas dos aglomerantes em estudo foram formuladas com traço igual a 1:0,45 (aglomerante:água), mesmas proporções utilizadas por Trentin (2020), seguindo as quantidades do quadro 2.

Quadro 2 – Quantidade de materiais para pasta em 100g de cimento

Cimento		Escória (g)	Gipsita (g)	Ativador Alcalino (g)	CP IV (g)	Água (g)
CSS	80.20 G	76	19	5	-	45
	90.10 G	85,5	9,5	5	-	45
CP IV	-	-	-	-	100	45

Fonte: os autores.

Os concretos produzidos seguem o traço base de 1:2:3:0,5 (aglomerante: agregado miúdo: agregado graúdo: água) em massa, sendo o mesmo utilizado por Pinto (2019).
Para a preparação das pastas, inicialmente foi realizada a mistura de todo o material seco e então adicionada a quantidade de água em 30 segundos, em seguida homogeneizada por mais 30 segundos, esperados mais 2 minutos e 30 segundos a pasta é misturada pela última vez por mais 30 segundos. Na sequência, foram moldadas as amostras em moldes cúbicos de 3x3x3cm.

O procedimento de mistura e adensamento para o concreto seguiu as etapas especificadas na NBR 7215 (ABNT, 2019), incluindo mais um ciclo para adição do agregado graúdo. Dessa maneira, o processo de mistura na argamassadeira mecânica se inicia em velocidade baixa com a mistura do cimento com água por 30 segundos; por mais 30 segundos adiciona-se gradualmente o agregado miúdo; em velocidade alta mistura por mais 30 segundos; retornando à velocidade baixa adiciona-se gradualmente o agregado graúdo por 30 segundos; retornando a velocidade alta mistura por mais 30 segundos; por 90 segundos é deixado a mistura descansar coberta com um pano úmido e para finalizar é realizado a última mistura em velocidade alta por 60 segundos. Após a mistura mecânica, a moldagem foi realizada em moldes cilíndricos com dimensões de 5 cm x 10cm.

A condição inicial de cura das amostras após a moldagem, foi de cura úmida em água com cal com concentração de 3g/L até 28 dias de idade das amostras.

2.3. Ensaios

O método utilizado para avaliação da resistência a carbonatação das formulações foi o modelo acelerado de carbonatação. Ensaios realizados em: 2, 4, 8 e 12 semanas de carbonatação acelerada. As idades de carbonatação acelerada 4, 8 e 12 semanas foram as mesmas utilizadas por Pinto (2019) que estudou carbonatação natural no CSS. Para avaliar a influência da carbonatação acelerada nas propriedades das pastas e concretos, as amostras foram submetidas a ensaio de resistência a compressão, profundidade de carbonatação e análise da microestrutura pré e pós carbonatação para determinação de suas características.

2.3.1 Carbonatação acelerada

Para iniciar o método de carbonatação acelerado, após a etapa de cura úmida de 28 dias, as amostras foram submetidas ao pré-condicionamento com duração de 29 dias, com as mesmas etapas seguidas por Cadore (2018) e for fim então encaminhadas para o ensaio em câmara de carbonatação.

O pré-condicionamento consiste em retirar as amostras da câmara úmida, manter em câmara climatizada a na temperatura de 23±2ºC e com umidade relativa de 60%, por um período de 15 dias até que a massas não sofra mais variações, após isso envolver as amostras em plástico filme a fim de homogeneizar a umidade no interior da amostra por um período de 14 dias.

Depois do pré-condicionamento inicia-se a carbonatação acelerada nas seguintes condições: temperatura a 30±2ºC; concentração de CO2 de ±3% e umidade relativa de 65±2%. As amostras ficaram até 12 semanas nessas condições em câmara de carbonatação.

2.3.2 Resistência à compressão

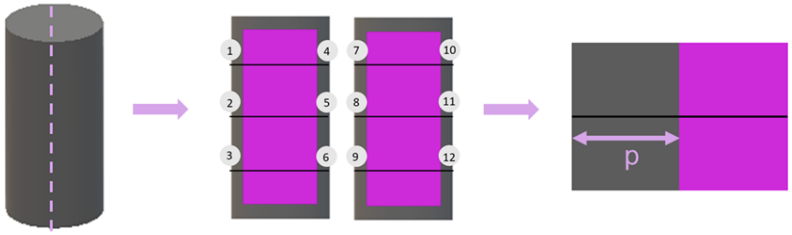
As pastas e os concretos passaram por ensaio de resistência, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2019), antes do processo de carbonatação, aos 28 dias e durante o período de carbonatação acelerada em 2, 4, 8 e 12 semanas. Dessa maneira, para cada umas das formulações, foram moldadas 3 amostras de pastas e 3 amostras de concreto para esse ensaio para cada idade de ensaio. O ensaio de resistência à compressão foi realizado no Laboratório de Materiais da UTFPR – Pato Branco com a prensa hidráulica EMIC.

2.3.3 Profundidade de carbonatação

Para a realização das medidas de profundidade de carbonatação, os corpos de prova de concreto precisam ser rompidos diametralmente após serem retirados da câmara de carbonatação. O procedimento adotado é descrito por RILEM CPC 18 (56-MHM, 1988), que consiste em aspergir com um borrifador um indicador ácido-base, sobre a superfície da amostra recém fraturada e com isso ser possível visualizar regiões com cores distintas, percebendo a diferença de pH da região mais externa da amostra com a parte mais interna. Para isso foi usada uma solução de fenolftaleína de 10g de fenolftaleína, com 700ml de álcool etílico e posterior adição de 300ml de água destilada.

Após a solução do indicador ter se estabilizado devem ser realizadas as medidas com o auxílio de um paquímetro, da região em que o não ficou roxa, indicando a espessura que foi carbonatada.
Será escolhido efetuar medidas igualmente espaçadas na direção da altura do corpo de prova e diametralmente opostas e nas duas partes da amostra, como exemplo na Figura 1, totalizando doze medidas por amostra.

Figura 1 - Ilustração da medida de profundidade de carbonatação



Fonte: os autores.

2.3.4 Microestrutura

Para a realização das análises de microestrutura DRX e TG/DTG as amostras de pasta foram fragmentadas e em seguida submetidas ao processo de parada de hidratação sendo submersas em acetona por 2 horas, em seguida filtradas no filtro de Büchner acoplado a uma bomba de vácuo. Na sequência foram colocadas na estufa com temperatura de 40±2ºC por 24 horas, para completar a secagem. Após a secagem foram moídas manualmente até atingirem granulometria passante na peneira 150 µm. Foram realizadas amostras para DRX para as 4 idades de carbonatação propostas no estudo (2, 4, 8, 12 semanas) e TG/DTG em 2 idades de carbonatação (2 e 4 semanas). As análises foram realizadas na Central de Análises da UTFPR – Câmpus Pato Branco.

Para o ensaio de DRX, as principais fases identificadas são: gipsita (29,1°), calcita (29,5°), portlandita (18º) e vaterita (27°). E para realização do ensaio foram utilizados os seguintes parâmetros: comprimento de onda igual a 1,54 Ă; leitura dos dados no intervalo de 5º a 60° (2Θ); velocidade de varredura de 3°/min; 0,5°/s; radiação de Cu Kα e passo de medidas a cada 0,02º.

Para o ensaio de TG/DTG, as principais fases identificadas são: etringita (90-110ºC), gipsita (120-130ºC), CSH, carbonato-metaestável. (450ºC) e calcita (660 – 950º).). E para realização do ensaio foram utilizados os seguintes parâmetros: massa da amostra em pó de10 mg; intervalo de temperatura de 30 a 1000°C; atmosfera de gás nitrogênio (N2); fluxo do gás de 100 mL/min e taxa de aquecimento de 10°C/min

3. RESULTADOS

3.1 Profundidade de Carbonatação

Com a aspersão de fenolftaleína sob as amostras de concreto rompidas diametralmente foi possível verificar a frente de carbonatação das amostras devido a diferença de pH que a fenolftaleína indica (pH acima de 9,5 tem coloração arroxeada). Os resultados de profundidade de carbonatação acelerada em 2 semanas (Figura 2) foram os mais significativos para as formulações de CSS, visto que foi a única idade em que foi possível verificar essa diferença de cor e mensurar a profundidade. Já nas semanas seguintes de ensaio (Figura 3), CSS sob aspersão de fenolftaleína não houve indicação de cor, considerado então totalmente carbonatado até o final do estudo em 12 semanas.

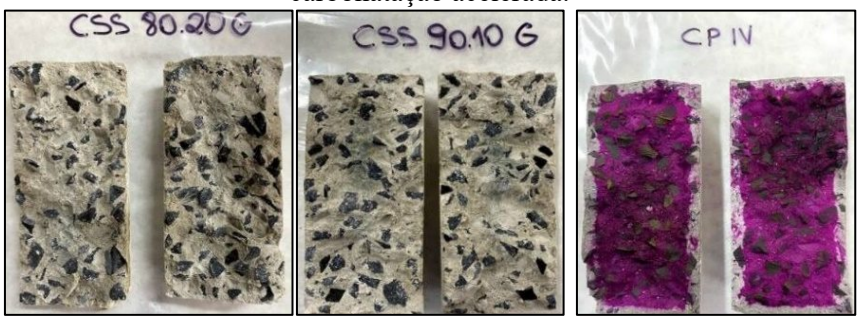
Em média os resultados de profundidade em 2 semanas foram: CSS 80.20 G atingiu 16,88 mm, CSS 90.0 G atingiu 18,29 mm e o CP IV atingiu 3,38 mm.

Figura 2 - Amostras de concreto com aplicação de fenolftaleína após 2 semanas de exposição à carbonatação acelerada.



Fonte: os autores.

Figura 3 - Amostras de concreto com aplicação de fenolftaleína após 4 semanas de exposição à carbonatação acelerada.



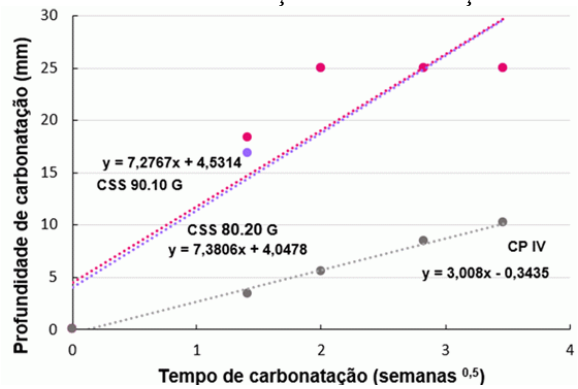
Fonte: os autores.

O CP IV, por sua vez, teve uma frente de carbontação gradativa, sendo possível mensurá-las em todas as semanas chegando a um valor máximo de 10,2 mm em 12 semanas.

Os resultados obtidos corroboram com os resultados alcançados por Pinto (2019), que também realizou carbonatação acelerada em amostras de CSS com o fator água/cimento próximo, e também alcançaram valores próximos a 25 mm, única diferença é que foram aos 56 dias (referentes a 8 semanas). Essa diferença pode ter se dado pela diferença entre os tempos de cura estabelecidos para o desenvolvimento das amostras. Pinto (2019) realizou um tempo de cura de 91 dias, neste estudo foi desenvolvido com tempo de cura de 28 dias.

Na linearização desses pontos de profundidade (Figura 4) foi possível obter, a taxa de carbonatação acelerada das formulações em estudo. Considerando que quanto maior a taxa de carbonatação, menos resistente a essa condição ele é, então o CSS 80.20 G e CSS 90.10 G com taxas respetivas de 7,38 e 7,24 são menos resistentes à carbonatação que o CPIV que apresentou uma taxa de 3,01.

Figura 4 - Linearização das profundidades de carbonatação acelerada em função do tempo para obtenção dos coeficientes de carbonatação das formulações em estudo.



Fonte: os autores.

3.2 Resistência à compressão

No Quadro 3 estão apresentados os valores dos resultados médios de resistência à compressão obtidos das amostras de pasta e concreto sob carbonatação acelerada das formulações.

Quadro 3 – Quantidade de materiais para pasta em 100g de cimento

Resistencia à compressão média ± desvio padrão (MPa)					
PASTA	**28 dias**	**2 semanas**	**4 semanas**	**8 semanas**	**12 semanas**

CSS 80.20 G	24,46 ± 1,95	24,80 ± 1,20	23,82 ± 1,96	26,09 ±0,86	27,12 ± 0,31
CSS 90.10 G	25,92 ± 0,06	21,12 ± 1,17	21,37 ± 1,14	22,59 ± 3,65	20,48 ± 1,78
CP IV	33,44 ± 3,31	40,32 ± 3,64	39,45 ± 0,96	46,67 ± 4,14	47,39 ± 4,63

CONCRETO	28 dias	2 semanas	4 semanas	8 semanas	12 semanas
CSS 80.20 G	23,87±0,77	17,55 ± 0,90	17,16 ± 1,39	17,48 ± 0,98	18,32 ± 0,66
CSS 90.10 G	21,53±0,96	15,14 ± 0,60	14,44 ± 0,80	15,08 ± 0,27	14,60 ± 0,35
CP IV	35,08±0,87	51,64 ± 4,16	46,87 ± 6,94	55,30 ± 2,37	55,69 ± 1,71

Fonte: os autores.

Como pode ser observado, ao final do ensaio, a formulação de CPIV foi a que apresentou os valores mais elevados de resistência, tanto para pasta como para concreto. No período de 12 semanas de carbonatação acelerada, os resultados para as amostras de pastas das formulações de CSS 90.10 G, CSS 80.20 G e CP IV foram respetivamente, 20,48 MPa; 27,12 MPa e 47,39 MPa. Esses valores equivalem a uma diferença de 57% e 43%, a mais na resistência do CPIV em comparação com as formulações de CSS. Já para os resultados das amostras de concretos das mesmas formulações, na mesma ordem citada acima, foram respetivamente 14,60 MPa, 18,32 MPa e 55,69 MPa. Utilizando a mesma comparação feita para as pastas, o concreto de CP IV obteve uma resistência de 74% e 67% a mais que as formulações de CSS.

Seguindo a análise de acordo com a NBR 6118 (2014) as duas formulações de CSS não estão de acordo com o grau mínimo de durabilidade a ser atingindo, em ambientes com pouca agressividade ambiental, pois o maior valor entre eles é inferior a 20 Mpa, que é requisito para ser utilizado.

A grande diferença entre o comportamento do CSS e do CPIV frente a carbonatação é justamente que o CSS demonstra a queda de resistência já em 2 semanas de ensaio e a mantém constante no passar do tempo, o CPIV por sua vez continua por ganhar resistência. Isso se deve justamente, como também concluído por Cadore (2018), pelo fato de que, na carbonatação do cimento Portland o principal produto atacado é a portlandita (CH) que não é um produto fornecedor de resistência para a matriz do cimento, então a portlandita sendo descalcificada não acarreta na redução de resistência e ainda auxilia a proporcionar a densificação dos poros da matriz, isso pode ser confirmado pelos resultados de difração de raios X.

O CSS pode possuir uma quantidade de portlandita nos produtos hidratação, formada por causa do ativador alcalino utilizado que é o próprio cimento Portland, mas, não é significativa para impedir a carbonatação da etringita e CSH, fornecedores resistência mecânica a matriz o que justifica a queda de resistência já em 2 semanas de ensaio.

3.3 DRX

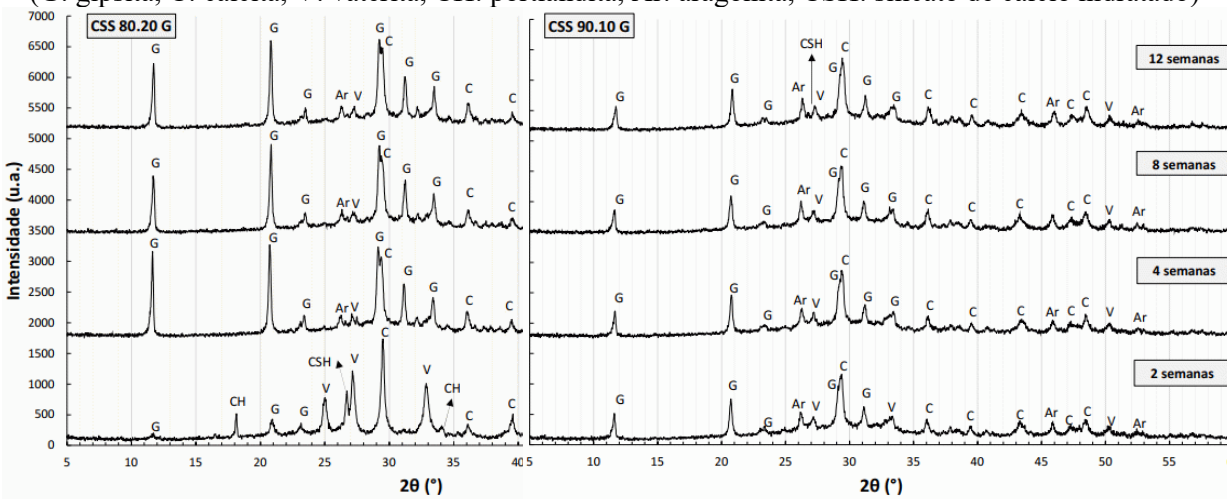
Os difratogramas do processo de carbonatação acelerada são apresentados a seguir nas Figura 5, Figura 6. Nesse estudo, os principais polimorfos de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) identificados nessas análises foram: calcita, vaterita e aragonita.

Para o CSS 80.20 G (Figura 5) foi possível identificar que, em 2 semanas de ensaio, as pastas já apresentaram picos intensos de calcita e vaterita na matriz. Ainda foi identificado pico de portlandita e CSH, mas sem a presença de picos de etringita. A ausência de picos de etringita significa que não há mais a presença desse tipo de produto hidratado na matriz, ou seja, etringita sofreu a descalcificação na carbonatação acelerada para a formação de carbonatos. Depois das 4

semanas é possível perceber que todos os elementos se mantêm com intensidade constante até ao final do ensaio. Na hidratação do CSS 80.20 G, esse elevado teor de sulfato na composição garante que maior quantidade de etringita seja formada, sendo assim, se descalcificada, há a formação de calcita e gipsita como produto da carbonatação.

Para o CSS 90.10 G (Figura 5), desde as 2 semanas de carbonatação não houve nenhuma diferença brusca na intensidade dos elementos identificados. E ainda em 12 semanas de carbonatação, foi possível identificar um pico de baixíssima intensidade de CSH ainda presente. A intensidade de calcita foi maior que gipsita, diferenciando-se do CSS 80.20 G na carbonatação quanto a intensidade dos compostos formados.

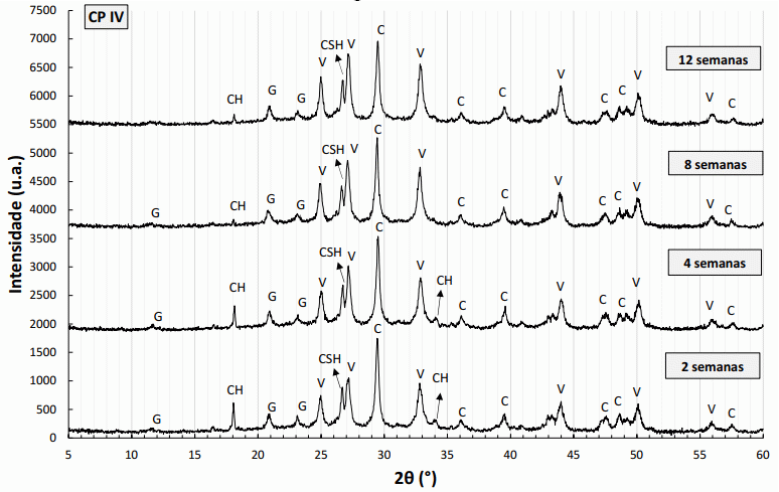
Figura 5 - Difratograma das pastas de CSS 80.20 G e CSS 90.10 G carbonatado em 2, 4, 8 e 12 semanas
(G: gipsita, C: calcita, V: vaterita, CH: portlandita, Ar: aragonita, CSH: silicato de cálcio hidratado)



Fonte: os autores.

No difratograma de CPIV (Figura 6) é apresentado elevados picos de calcita desde as 2 semanas de carbonatação. O pico identificado de CSH demonstrou constância de intensidade em todos os ensaios. O pico de portlandita, reduz de intensidade com o passar do tempo confirmando sua descalcificação por primeiro nesse processo de carbonatação do CP.

Figura 6 - Difratograma das pastas de CPIV carbonatado em 2, 4, 8 e 12 semanas
(G: gipsita, C: calcita, V: vaterita, CH: portlandita, CSH: silicato de cálcio hidratado

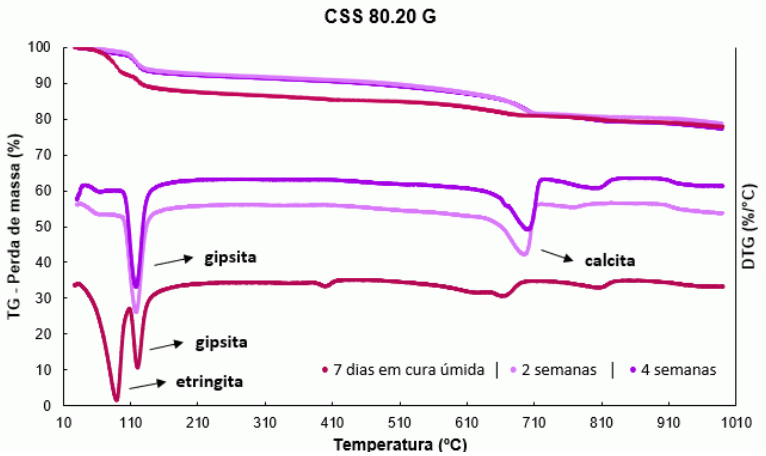


Fonte: os autores.

3.4 TG / DTG

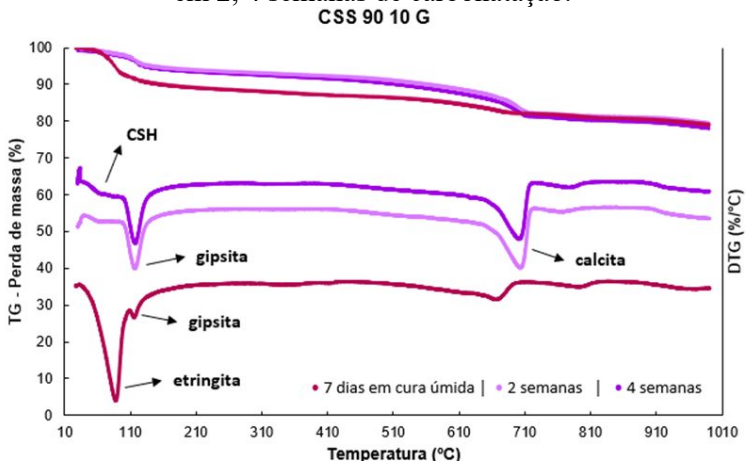
Nas Figura 7 e Figura 8, são apresentadas as curvas de análise térmica das formulações de CSS em 2 e 4 semanas de carbonatação. Para complementar o gráfico foram incluídos as curvas das mesmas formulações com idade de 7 dias em cura úmida realizados por Trentin (2020).

Figura 7 - Análise Termogravimétrica (TG/DTG) das pastas de CSS 80.20 G: em 7 dias de cura úmida e em 2, 4 semanas de carbonatação.



Fonte: os autores.

Figura 8 - Análise Termogravimétrica (TG/DTG) das pastas de CSS 90.10 G: em 7 dias de cura úmida e em 2, 4 semanas de carbonatação.



Fonte: os autores.

Nas análises térmicas de CSS 80.20 G foi possível perceber que do pico de gipsta mostrou-se bem mais intenso nas idades de carbonatação comparado com os 7 dias em cura úmida, corroborando com os resultados de DRX que, demonstram esse crescimento de gipsita. O pico de calcita apareceu para as idades de carbonatação e se manteve constante.

A presença de pico de etringita na idade de cura úmida, e a ausência nas idades de carbonatação, demostram, assim como com os resultados de difratograma de Pinto (2019) que, a carbontação dessas formulações de CSS acontecem majoritariamente pela descalcificação de etringita e CSH. Assim, como para as pastas de CSS 80.20 G, o CSS 90.10 G, também apresenta a ausência de picos de etringita nas análises térmicas das idades carbonatadas.

Essas elevadas taxas de carbonatação dos cimentos supersulfatados, estão extremamente ligadas com o tipo de produto que é atacado na carbonatação: a etringita e o CSH são os principais produtos descalcificados. Como sugere Castellote et al (2008), percebe-se que a taxa de consumo desses elementos nessa reação de carbonatação também é elevada.

4. CONCLUSÕES

As formulações de CSS comparadas com a referência de CPIV, atingiram grandes taxas de carbonatação apresentando uma profundidade de carbonatação elevada e perderam entre 25 e 35% de resistência mecânica atingindo valores menores que 20MPa. Para ambas as formulações de CSS estudadas, se pode concluir que a resistência à carbonatação do CSS é baixa.

As análises microestruturais realizadas comprovam que o CSS tem os principais produtos fornecedores de resistência atacados pela carbonatação, o que traz um grande prejuízo na capacidade de resistência a compressão com o passar do tempo sob ação dessa reação.

Quanto aos diferentes teores de sulfato de cálcio nas formulações de CSS, eles influenciam de maneira que, quanto maior a quantidade de sulfato de cálcio, maior a intensidade de carbonatos formados e de gipsita precipitada na matriz.

Este trabalho foi de extrema importância para compreender como o cimento supersulfatado se comporta sob a ação da carbonatação acelerada, complementando estudos anteriores com os quais foram comparados resultados e abre novas oportunidades para trabalhos futuros com o intuito de estudar outras condições de carbonatação e novas formulações de CSS a fim de melhorar o comportamento frente a essa condição que se apresentou agressiva ao cimento supersulfatado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Estruturas de concreto armado – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

BRANCO, F. A.; PAULO, P.; GARRIDO, M. **Vida útil na construção civil**. Mérida, México: Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción (ALCONPAT Internacional), 2013. Boletim Técnico, n. 4

CADORE, D. É. **Durabilidade de concretos à base de cimento álcali ativado: aspectos relacionados à carbonatação**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

CASTELLOTE, M. et al. Chemical changes and phase analysis of opc pastes carbonated at different CO_2 concentrations**. Materials and Structures**, Springer, v. 42, n. 4, p. 515–525, 2009.

GRUSKOVNJAK, A. et al. **Hydration mechanisms of super sulphated slag cement**. Cement and Concrete Research, v. 38, n. 7, p. 983-992, 2008.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. ed. 2. Bookman. São Paulo, 2013

PAULETTI, C. **Análise comparativa de procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

PAULETTI, C; POSSAN, E.; DAL MOLIN, D. C.C. Carbontação Acelerada: estado da arte das pesquisas no Brasil. **Ambiente Construído**, v 7, n 4, p 7-20, 2007.

PINTO, Sabrina Requião. **Durabilidade de matrizes cimentícias de cimento supersulfatado e de cimentos portland: ataque por sulfatos, carbonatação e penetração de cloretos**. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil. Curitiba, 2019.

RILEM. CPC 18 (56-MHM): **Measurement of hardened mortar water absorption**. Paris: RILEM, 1988.

RUBERT, Sílvia. **Contribuição ao estudo de cimentos supersulfatados: formulação e mecanismos de hidratação**. 2015. 114 pg. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015

TRENTIN, Priscila Ongaratto. **Comportamento do cimento supersulfatado (CSS) exposto ao ataque por sulfatos de origem externa**. 2020.162 pg. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Pato Branco, PR, 2020.

CAPÍTULO 6 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/471ecm62
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/bxsjne92

PROJETO DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL COM PROTEÇÃO CATÓDICA EM PILARES DE UM SUBSOLO COM PRESENÇA DE LENÇOL FREÁTICO

Daniel Carvalho de Britto[1]*, Gelson de Sousa Alves[1]
* danielcbritto@hotmail.com

[1] Departamento de Estruturas, Universidade Federal do Piauí, Teresina, Brasil

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar uma solução de recuperação estrutural para elementos de concreto armado localizados em subsolo com lençol freático elevado, em ambiente classificado como Classe de Agressividade Ambiental IV, conforme a ABNT NBR 6118:2023. O estudo foi desenvolvido a partir de inspeção in loco e ensaios complementares, que identificaram deterioração do cobrimento, fissuração, destacamento e condições compatíveis com corrosão ativa das armaduras. Com base no diagnóstico, propôs-se uma intervenção composta por demolição controlada do concreto degradado, limpeza e recomposição/substituição localizada das armaduras e reconstituição do cobrimento com argamassa estrutural, associada à proteção catódica galvânica por ânodos de sacrifício conectados às armaduras. Para o dimensionamento do sistema, adotou-se área de aço de aproximadamente 70,59 m², densidade de corrente de 10 mA/m² e vida útil de 10 anos, resultando em massa anódica equivalente a aproximadamente 991 pastilhas de 100 g ou 1.652 unidades de 60 g. Os resultados demonstram que a solução integrada é tecnicamente adequada para condições de saturação permanente, contribuindo para a mitigação da corrosão residual, aumento da durabilidade e maior confiabilidade do reparo em estruturas submetidas a elevada agressividade ambiental. Recomenda-se, como desdobramento, o refinamento da distribuição dos ânodos por zonas de exposição, de modo a otimizar o desempenho do sistema e ampliar a vida útil da estrutura.

Palavras-chave: recuperação estrutural; corrosão; proteção catódica; ânodos de sacrifício; concreto armado.

ABSTRACT

This study aims to evaluate a structural rehabilitation solution for reinforced-concrete elements located in a basement subjected to a high groundwater table, in an environment classified as Environmental Aggressiveness Class IV according to ABNT NBR 6118:2023. The investigation was based on on-site inspection and complementary tests, which identified cover deterioration, cracking, spalling, and conditions compatible with active reinforcement corrosion. Based on the diagnosis, an intervention was proposed consisting of controlled removal of degraded concrete,

localized reinforcement cleaning and replacement/reconstitution, and cover rebuilding with structural repair mortar, combined with galvanic cathodic protection using sacrificial anodes electrically connected to the reinforcement. The cathodic protection design considered a steel surface area of approximately 70.59 m², a current density of 10 mA/m², and a 10-year service life, resulting in an anodic mass equivalent to approximately 991 units of 100 g or 1,652 units of 60 g anode pellets. The results indicate that the integrated solution is technically suitable for permanently saturated conditions, contributing to the mitigation of residual corrosion, improved durability, and greater reliability of the repair strategy in highly aggressive environments. As a further development, it is recommended that anode distribution be refined according to exposure zones in order to optimize system performance and extend structural service life.

Keywords: structural rehabilitation; corrosion; cathodic protection; sacrificial anodes; reinforced concrete.

1. OBJETO

Recuperação estrutural de elementos de concreto armado localizados em subsolo com presença de lençol freático constante, incluindo recomposição de seções deterioradas e implantação de sistema de proteção catódica por ânodos de sacrifício.

1.1 Local e Condições Gerais

A intervenção ocorre em estrutura de concreto armado (pilares) situada no subsolo, desativado desde a época da construção do condomínio residencial, ou seja, há 13 anos, conforme demonstrado na Figura 1, exposta à ação permanente de água subterrânea (lençol freático elevado), com pontos de nascente de água, identificadas durante os trabalhos de campo. O ambiente é classificado como classe de agressividade ambiental IV conforme NBR 6118:2023, com alto risco de corrosão das armaduras por presença de carbonatação.

Figura 1 – Local da realização dos estudos



Fonte: Autor/2025

1.2 Diagnóstico Prévio A inspeção e ensaios prévios identificaram:

O diagnóstico prévio foi estabelecido a partir de inspeção in loco e da execução de ensaios complementares, permitindo caracterizar o mecanismo de deterioração predominante e sua extensão. Observou-se fissuração e destacamento do cobrimento compatíveis com expansão de produtos de corrosão, indicando perda de aderência e comprometimento local da proteção física das armaduras. Constatou-se, ainda, perda de seção em barras longitudinais e transversais, evidenciando redução de capacidade resistente e potencial impacto na ductilidade e no desempenho em serviço dos elementos avaliados. As diligências também registraram umidade persistente, com infiltrações e presença contínua de eletrólito, condição crítica por favorecer o fechamento de circuito eletroquímico e acelerar as taxas de corrosão. Adicionalmente, os ensaios eletroquímicos realizados indicaram potenciais compatíveis com corrosão ativa, corroborando o diagnóstico de processo corrosivo em curso e justificando a adoção de medidas combinadas de reparo do cobrimento e mitigação eletroquímica (proteção catódica) para aumento da durabilidade.

2. ESCOPO DOS SERVIÇOS

O preparo da superfície foi conduzido por meio de demolição controlada do concreto deteriorado (vide Figura 2), assegurando a remoção integral de regiões desagregadas, com perda de coesão e/ou contaminadas, até atingir substrato íntegro e com resistência compatível para receber o reparo. Em seguida, procedeu-se à limpeza das armaduras, com remoção de produtos de corrosão por jateamento abrasivo ou escovação mecânica, até a obtenção de aço visualmente limpo, isento de carepas soltas e de material pulverulento, condição necessária para restabelecimento da aderência e para redução de células corrosivas localizadas. Após a exposição das barras, foi realizada inspeção dimensional para quantificação da perda de seção e definição da necessidade de substituição, complemento ou reforço das armaduras existentes, em conformidade com os requisitos de segurança e detalhamento executivo.

Figura 2 – Serviços de reabilitação



Fonte: Autor/2025

A recomposição de armaduras e do cobrimento contemplou a complementação de barras corroídas com aço CA-50 ou CA-60, mantendo-se diâmetros equivalentes e respeitando-se os comprimentos de ancoragem e critérios de transmissão de esforços previstos em projeto. As emendas foram executadas por ancoragem química, adotando-se procedimentos de perfuração, limpeza do furo e cura do adesivo estrutural segundo recomendações do fabricante, de modo a garantir desempenho mecânico, aderência e durabilidade. Concluída a reconstituição do arranjo de aço, realiza-se a recomposição da seção de concreto com argamassa estrutural de reparo, de alta resistência, retração controlada e compatibilidade físico-química com o concreto existente, assegurando cobrimento adequado, aderência ao substrato e restauração da geometria original do elemento.

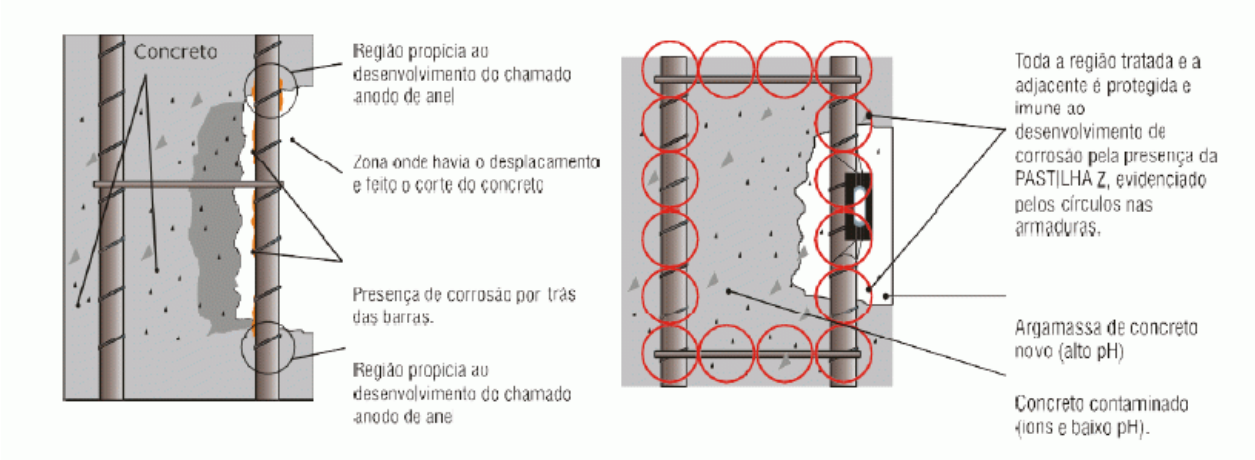
Como medida de incremento de durabilidade, foi implantada proteção catódica por ânodos galvânicos de sacrifício (vide Figura 3) e ilustração da Figura 4, com utilização de ânodos em liga de zinco ou alumínio adequados à aplicação em concreto armado sob elevada umidade/imersão. Os ânodos foram fixados junto às armaduras, garantindo continuidade elétrica, contato eficiente e baixa resistência de conexão, de modo a permitir a polarização catódica do aço. A distribuição foi definida por critérios de projeto para atendimento da área a proteger e manutenção de condições eletroquímicas de proteção, com referência aos parâmetros de desempenho e verificação estabelecidos em NACE SP0290 e ABNT NBR 13539. Após a instalação, foram executadas medições iniciais de potencial e verificações de campo para validação do funcionamento do sistema, servindo como linha de base para o plano de monitoramento.

Figura 3 – Aplicação de proteção catódica



Fonte: Autor/2025

Figura 4 – Sistema de proteção



Fonte: https://rogertec.com.br/

3. MATERIAIS PREVISTOS

3.1 Critérios De Execução E Controle

Os materiais e sistemas especificados para a intervenção compreendem argamassa de reparo estrutural classe R4, em conformidade com a ABNT NBR 16541, destinada à recomposição do cobrimento e restauração geométrica/funcional dos elementos, garantindo desempenho mecânico, aderência ao substrato e retração controlada. Para mitigação do processo corrosivo residual, adotam-se ânodos galvânicos de sacrifício à base de zinco e/ou alumínio, próprios para aplicação em concreto armado sob condição de elevada umidade/imersão, dimensionados para promover a polarização catódica das armaduras ao longo da vida útil prevista. A infraestrutura elétrica do sistema de proteção catódica inclui cabos e conectores em cobre estanhado, selecionados para assegurar baixa resistência de conexão, continuidade elétrica e maior resistência à corrosão em ambiente agressivo.

Quanto aos critérios de execução e controle, os serviços devem ser conduzidos em estrita observância às prescrições das normas ABNT NBR 6118 (projeto e requisitos de durabilidade), ABNT NBR 12655 (preparo, controle e recebimento de concretos/insumos aplicáveis), ABNT NBR 16541 (reparo estrutural com argamassas), ABNT NBR 13539 (proteção catódica) e NACE SP0290 (diretrizes e critérios para proteção catódica em estruturas), assegurando rastreabilidade técnica e compatibilidade entre materiais, procedimentos e condições de exposição. Como instrumento de verificação e evidência de conformidade, deve ser mantido registro fotográfico sistemático de todas as etapas críticas (demolição, preparo do substrato, tratamento/recomposição de armaduras, aplicação da argamassa, instalação e conexão dos ânodos, medições iniciais e acabamento), compondo o dossiê de qualidade e suportando o comissionamento e o plano de monitoramento.

No que se refere à segurança e meio ambiente, é obrigatória a implementação de isolamento físico e sinalização da área de trabalho, de modo a controlar acessos, reduzir interferências operacionais

e mitigar riscos a terceiros. Os resíduos gerados — incluindo concreto removido, resíduos metálicos, abrasivos e eventuais efluentes — devem ser segregados, acondicionados e destinados de forma ambientalmente adequada, conforme procedimentos internos e legislação aplicável, evitando contaminação do entorno e do sistema de drenagem. A execução deve prever, ainda, o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) compatíveis com os riscos da atividade, atendendo às exigências da NR-6 e NR-18, além de orientações específicas para trabalhos com demolição localizada, manuseio de produtos químicos (ancoragem) e operações de escovação.

4. MEMORIAL DE CÁLCULO

4.1 Conversão de densidade de corrente

$$I_{req}(A) = \frac{j(mA/m^2)x\ A_s(m^2)}{1000} \quad (1)$$

Onde:

I_{req}(A): corrente requerida de proteção (corrente total necessária para polarizar/proteger o aço).
j(mA/m²): densidade de corrente de projeto (corrente por unidade de área de aço a proteger).

A_s(m²): área superficial de aço/armadura considerada no dimensionamento (área "molhada/ativa" exposta ao eletrólito).

1000: fator de conversão de mA → A (pois $1\ A = 1000\ mA$).

4.2 Carga total necessária (Ah) ao longo do tempo de projeto ttt (horas)

$$Q(Ah) = I_{req}(A)\ x\ t(h) \quad (2)$$

Onde:

Q(Ah)= carga elétrica total requerida no período de projeto (Ampère-hora).

I_{req}(A) =corrente requerida (definida na Eq. 1).

t(h)= tempo de projeto, em horas (vida útil considerada convertida para horas).

4.3 Massa de ânodo necessária (kg) usando capacidade específica CCC (Ah/kg) e fator de utilização uuu

$$Q(Ah) = I_{req}(A)\ x\ t(h) \tag{3}$$

Onde:

(kg)= massa de ânodo necessária para fornecer a carga Qdurante o tempo de projeto.

Q(Ah)= carga total requerida (Eq. 2).

C(Ah/kg) = capacidade específica do material anódico (quantidade de carga que 1 kg do ânodo consegue fornecer, conforme material/fornecedor/condição).

u(adimensional) =fator de utilização (fração efetivamente "aproveitável" da massa anódica; considera perdas e massa que não se consome de forma útil).

4.4 Nº de pastilhas

$$N = \frac{m_{total}{}'}{m_{unitária}} \tag{4}$$

Onde:

de pastilhas =quantidade total de unidades (pastilhas) necessárias.

m_{total}(kg ou g) = massa total de ânodo calculada (resultado da Eq. 3, convertida para a unidade usada na pastilha).

$m_{unitária}$(kg ou g) = massa de uma pastilha (massa por unidade do ânodo comercial).

4.5 Premissas adotadas

- A Adotado 8 barras por pilar onde você disse "6 a 8" —caso mais conservador (8 barras) para não subdimensionar, conforme anexo 01;
- B. Altura exposta = 0,70 m (padronizado);
- C. Corrente de proteção adotada (proposta): 10 mA/m² de superfície de aço (justificativa técnica abaixo).
- D. Material anódico escolhido para cálculo primário: Zinco (uso corrente em concreto); capacidade adotada 780 Ah/kg (valor típico de fabricantes/datas).
- E. Fator de utilização/eficiência total adotado = 0,8 (adotado) – 80%
- F. Vida útil projetada = 10 anos.

- G. Contato: direto com o aço.

4.6 Cálculo — passos e resultados

O cálculo de dimensionamento foi desenvolvido de forma sequencial, a partir da determinação da área superficial de aço a proteger em cada pilar e, posteriormente, da conversão dessa área em corrente requerida, carga total ao longo da vida útil e massa anódica necessária. Inicialmente, a área superficial de aço por pilar (A_p, em m²) foi estimada pela soma das áreas laterais das barras consideradas no trecho exposto, adotando-se a relação da equação 5 abaixo, em que N_{barras}corresponde ao número de barras por pilar, $d$ao diâmetro das barras e L_{exp}ao comprimento efetivamente exposto/atuante.

$$A_p = N_{barras} \cdot \pi \cdot d \cdot L_{exp} \quad (5)$$

Onde:

N_{barras} =corresponde ao número de barras por pilar,

d =ao diâmetro das barras

L_{exp} =ao comprimento efetivamente exposto/atuante.

Com a área total de aço definida (A_{total}), a corrente requerida do sistema foi obtida pela aplicação da densidade de corrente de projeto, segundo $I = j \cdot A_{total}$, resultando na corrente total necessária para promover a polarização catódica das armaduras.

Em seguida, a carga elétrica total ao longo da vida útil foi calculada por $Q\ (Ah) = I\ (A) \cdot t\ (h)$, considerando o tempo de projeto convertido para horas. Por fim, a massa de ânodo foi determinada a partir da capacidade específica do material anódico e do fator de utilização, utilizando a expressão $m = \frac{Q}{C \cdot u}$, na qual C representa a capacidade específica (Ah/kg) e uo coeficiente de aproveitamento efetivo da massa anódica.

Para a conversão de dados e adoção de constantes, foi considerada densidade de corrente de projeto $j = 10\ mA/m^2$, equivalente a $0{,}010\ A/m^2$. O período de 10 anos foi convertido para $t = 10 \times 365 \times 24 = 87.600\ h$. Adotou-se capacidade específica do zinco $C = 780\ Ah/kg$(valor de projeto utilizado no memorial), e fator de utilização $u = 0{,}8$, conforme premissa fornecida para representar perdas e massa não efetivamente consumida de forma útil ao longo da operação.

4.7 Entradas por tipo de pilar

Conforme verificação do projeto estrutural e conferências realizadas durante as diligências de campo que antecederam o dimensionamento, constatou-se que os elementos verticais avaliados apresentam três tipologias distintas de pilares, as quais foram organizadas em lotes para fins de quantificação, padronização do cálculo e definição do consumo anódico. A classificação foi estabelecida a partir do diâmetro das armaduras longitudinais e do comprimento efetivamente exposto no trecho de intervenção, mantidos constantes o número de barras por seção e a altura exposta considerada. Assim, definiram-se: Lote A, composto por 85 pilares com 8 barras longitudinais Ø12,5 mm e trecho exposto de 0,70 m; Lote B, com 35 pilares contendo 8 barras Ø20,0 mm e trecho exposto de 0,70 m; e Lote C, formado por 80 pilares com 8 barras Ø25,0 mm, igualmente com 0,70 m de exposição. Essa setorização permitiu consolidar o levantamento de armaduras e orientar o dimensionamento da área superficial de aço por tipologia, garantindo coerência entre o quantitativo de elementos, a área a proteger e o respectivo dimensionamento do sistema de proteção catódica por ânodos galvânicos, conforme Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Dimensionamento do sistema de proteção catódica

LOTE	$A_p(m^2)$	$A_{total}(m^2)$	$I_{req}(A)$	$Q(Ah)$	$m(kg)$
A	0,2199	20,8916	0,2089	18,301	29,33
B	0,3519	12,3150	0,1232	10,788	17,29
C	0,4398	37,3850	0,3738	32,749	52,48
TOTAL	-	70,5916	0,7059	-	99,10

Fonte: os autores.

A partir da Tabela 1, obtém-se para a área de aço exposta dos 3 lotes é de 70,5916 m², a corrente total requerida foi de 0,7059 A e a massa total de zinco necessária considerando o fator de utilização de 80 % e a vida útil projetada de 10 anos, obteve a massa de aproximadamente 99,1 kg, ou seja, utiliza-se 100 kg de acordo com o fabricante como descrito no Quadro 1.

Quadro 1 – Dimensões de acordo com o fabricante

Produtos	Dimensões da massa de ativação anódica (mm)	Massa da liga de zinco (g)
PASTILHA Z	25 x 80 x 80	60
PASTILHA ZX		100

Fonte: https://rogertec.com.br/

4.8 Observações técnicas e justificativas

Adotou-se densidade de corrente de projeto de 10 mA/m², referida à superfície de aço a proteger, em função das condições de exposição identificadas — lençol freático permanente, elevada disponibilidade de eletrólito e ambiente agressivo — que justificam a utilização de um parâmetro conservador para garantir polarização suficiente e estabilidade do potencial ao longo do tempo.

Embora a literatura técnica e a prática de mercado indiquem ampla variabilidade de valores (em intervenções preventivas podem ser adotadas frações de mA/m²; já em proteção catódica ativa, em

condição de risco moderado a elevado, são reportadas faixas típicas na ordem de 2 a 20 mA/m², a depender da resistividade do meio, nível de umidade, presença de cloretos, condição do aço e eficiência de instalação), a escolha de 10 mA/m² foi definida como um valor intermediário-conservador, coerente com o cenário de saturação e com a necessidade de robustez do sistema.

Ressalta-se que, caso a estratégia de otimização econômica seja priorizada, é tecnicamente possível reavaliar o dimensionamento com 5 mA/m², desde que suportado por critérios de desempenho e monitoramento, implicando redução proporcional do consumo anódico.

Quanto ao material anódico, adotou-se zinco por ser amplamente utilizado em aplicações associadas ao concreto armado, com disponibilidade comercial consolidada e comportamento conhecido, admitindo-se capacidade específica típica de aproximadamente 780 Ah/kg nas premissas de projeto. Alternativamente, o emprego de ligas à base de alumínio (Al-Zn-In) pode reduzir significativamente a massa total requerida, uma vez que tais ligas tendem a apresentar maior capacidade específica, podendo resultar, sob as mesmas premissas, em uma massa global da ordem de ~31 kg, com impacto direto em logística de transporte/manuseio, tempo de instalação e custo global do sistema.

Destaca-se que o dimensionamento fornece a massa total de material anódico. A conversão para número de pastilhas/unidades depende da massa unitária do modelo comercial adotado, uma vez que há ampla faixa de formatos e pesos disponíveis. Assim, o quantitativo final por unidade foi definido a partir do catálogo do fornecedor (por exemplo, pastilhas de 0,5 kg, 1,0 kg, 2,0 kg etc.), permitindo traduzir a massa calculada em número de peças e otimizar o plano de implantação por zonas.

Adicionalmente, a eficiência e o consumo real dos ânodos são influenciados por fatores executivos e ambientais, tais como qualidade do contato elétrico, resistência de conexão, revestimentos/encapsulamento, variações de umidade, temperatura e uniformidade de distribuição. No cálculo, foi adotado fator de utilização $u = 0{,}8$ conforme premissa fornecida, representando perdas e massa não efetivamente consumida de forma útil. Como prática de engenharia para elevar a confiabilidade, recomenda-se ainda a adoção de margem de reserva adicional (10–20%) sobre a massa calculada, sendo +10% uma escolha prudente para segurança operacional e incertezas de campo.

5. MEMÓRIA DE CÁLCULO — PASTILHAS

5.1 Premissas adotadas (confirmadas / escolhidas):

- Altura exposta das armaduras: 0,70 m
- Conservador: 8 barras por pilar (onde havia "6 a 8").
- Densidade de corrente adotada (proposta): 10 mA/m² = 0,010 A/m² (também mostro resultado para 5 mA/m²). Valores típicos em literatura/indústria variam entre 2–20 mA/m²; 10 mA/m² é uma escolha intermediária/conservadora para ambiente com lençol freático.
- Vida útil de projeto: 10 anos = 87.600 h.
- Contato: direto com aço • Fator de utilização (eficiência): u = 0,8
- Capacidades adotadas (fabricante / referência típica): Zinco = 780 Ah/kg; Alumínio (Al-Zn-In) ≈ 2.651 Ah/kg (valores típicos de fornecedores/tech sheets).

5.2 Cálculo da área superficial de aço (cada grupo)

Usada fórmula:

$$Apilar = Nbarras \cdot \pi \cdot d \cdot Lexp \quad (6)$$

Onde:

(m²)= área superficial total de aço (armadura) considerada **no pilar**, no trecho analisado.

N_{barras}**(adimensional)** = número de barras longitudinais do pilar consideradas no cálculo.

π: constante pi (≈ 3,1416).

d**(m)** = diâmetro da barra de aço (converter de mm para m antes de usar na fórmula).

L_{exp}**(m)** = comprimento/altura **exposta** (ou efetivamente atuante) da barra no trecho considerado.

DADOS:

• LOTE AA— 95 pilares; 8 barras Ø12,5 mm;

Apilar=0,21991 Área total = 20,8916 m².

• LOE B — 35 pilares; 8 barras Ø20,0 mm;

Apilar=0,35186 m² Área total = 12,3150 m².

• LOTE C — 85 pilares; 8 barras Ø25,0 mm;

Apilar=0,43982 m² Área total = 37,38495 m².

Área total de aço exposto (somando A+B+C): 70,59159 m².

5.3 Corrente requerida e carga

As Tabelas 1 e 2 sintetizam, respectivamente, a corrente/carga requerida e a massa de ânodos necessária para o sistema de proteção catódica, evidenciando que o cenário proposto com j = 10 mA/m² demanda 0,7059 A e 61.838 Ah, correspondendo a 99,10 kg de zinco ou 29,16 kg de alumínio, enquanto o cenário econômico com j = 5 mA/m² reduz esses valores para 0,3530 A, 30.919 Ah, 49,55 kg de zinco e 14,58 kg de alumínio.

Tabela 1 – Valores encontrados de corrente

Cenário	j (mA/m²)	I total (A)	Q total (Ah)
A (proposto)	10 mA/m² (0,010 A/m²)	**0,7059 A**	**61.838 Ah**
B (economia)	5 mA/m² (0,005 A/m²)	**0,3530 A**	**30.919 Ah**

Fonte: Autor/2025

5.4 Massa de ânodos requerida (zinco e alumínio)

Tabela 2 – Resumo de Massa requerida

Cenário	Massa Zn (kg)	Massa Al (kg)
j = 10 mA/m²	**99,10 kg**	**29,16 kg**
j = 5 mA/m²	**49,55 kg**	**14,58 kg**

Fonte: Autor/2025

A. Resultados — j = 10 mA/m²

Massa Zn = 99,10 kg → nº pastilhas Zn (arredondado para cima):

✓ 60 g (0,06 kg) → 1.652 unidades ✓ 100 g (0,10 kg) → 991 unidades

B. Resultados — j = 5 mA/m²

Resultados — j = 5 mA/m² • Massa Zn = 49,55 kg → (ex.: 1 kg → 50 un).

✓ 60 g (0,06 kg) → 826 unidades ✓ 100 g (0,10 kg) → 496 unidades

ADOTAR:

- LOTE A — 85 pilares; 8 barras Ø12.5 mm; exposto 0,70 m - até 04 unidades de 100 g
- LOTE B — 35 pilares; 8 barras Ø20.0 mm; exposto 0,70 m - até 04 unidades de 100 g
- LOTE C — 80 pilares; 8 barras Ø25.0 mm; exposto 0,70 m – até 04 unidades de 100 g

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A seleção do material anódico deve considerar desempenho eletroquímico, viabilidade executiva e compatibilidade com o meio. Ligas de alumínio do tipo Al-Zn-In tendem a apresentar maior

capacidade específica, permitindo redução significativa da massa total requerida e, consequentemente, ganhos logísticos (transporte, manuseio e tempo de instalação).

O zinco, por sua vez, possui uso consolidado em aplicações associadas ao concreto armado, sendo tecnicamente aceitável e amplamente empregado, desde que atendidas as premissas de projeto e os requisitos de instalação.

Ressalta-se que a massa anódica total não substitui o projeto de distribuição e implantação do sistema. A eficiência da proteção catódica galvânica depende da distribuição uniforme dos ânodos em torno dos pilares e ao longo das zonas a proteger, de modo a evitar regiões subprotegidas e garantir atendimento local de corrente.

Recomenda-se a definição de setorização por zonas, critérios de espaçamento/posicionamento, detalhamento das ligações elétricas (continuidade, baixa resistência e proteção mecânica das conexões) e a previsão de pontos de medição, incluindo eletrodos de referência, para comissionamento e verificações periódicas.

Para aumentar a robustez do sistema e absorver incertezas de campo, recomenda-se a adoção de reserva de massa anódica da ordem de 10% sobre o valor calculado, além de considerar, no detalhamento executivo, a acessibilidade para inspeção e substituição dos ânodos, uma vez que se trata de elementos consumíveis. Adicionalmente, deve ser instituído um plano de inspeção e monitoramento periódico, preferencialmente anual, com registro das condições de instalação, integridade de conexões e evolução dos parâmetros eletroquímicos, em virtude das condições em que os elementos estruturais se encontram, ou seja, a presença constante do lençol freático.

A validação no local constitui etapa obrigatória após a instalação. Devem ser realizadas medições de potencial eletroquímico por meio de eletrodos de referência apropriados (por exemplo, Ag/AgCl ou $Cu/CuSO_4$, conforme procedimento adotado) e avaliação da corrente por zona, a fim de confirmar a efetividade da polarização e o atendimento dos critérios de proteção estabelecidos em norma.

7. AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos se direcionam à Deus, meu eterno guardião, meu filho Davi, à Syalle minha paz diária e minha inspiração e à minha família sempre presente.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM G109-21** – Standard Test Method for Determining the Effects of Chemical Admixtures on Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments. ASTM International, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **ASTM G1-03(2022)** – Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. ASTM International, 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **- ISO 12696:2021** – Cathodic Protection of Steel in Concrete. International Organization for Standardization, 2021.

NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS. **NACE SP0290-2007** – Impressed Current Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures. NACE International, 2007.

NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS. **- NACE SP0408-2018** – Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Buried or Submerged Concrete Structures. NACE International, 2018.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE **ACI 222R-19** – Protection of Metals in Concrete Against Corrosion. American Concrete Institute, 2019.

Pedeferri, P. – Cathodic Protection and Cathodic Prevention. **Construction and Building Materials**, Vol. 10, No. 5, 1996, pp. 391–402.

Broomfield, J.P. – **Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair.** 2nd Edition, Taylor & Francis, 2007.

HELENE, P. R. L.; Andrade, C. – **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**. Pini, 1993.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. – **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 4th Edition, McGraw-Hill, 2014.

CAPÍTULO 7 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/1che5x08
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/xcwa5438

CONSERVAÇÃO DE MARCOS HISTÓRICOS: INTERVENÇÕES PATOLÓGICAS EM FORROS DE MADEIRA E ROCHAS ORNAMENTAIS

Ana Maria Gonçalves Duarte[1]*; Lívia Nayara Nóbrega de Melo[2]; Emmanuely Regina Araújo Diniz[3]; Ana Letícia Feitosa de Macêdo[4]; Dr. Valter Ferreira Neto[5]; Maria Eduarda Velez Martins[6]; Diego José Araújo Viegas[7]; Manoel Leandro Araújo e Farias[8]

*ana.duartemendonca@professor.ufcg.edu.br

[1] Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[2] Graduanda em Construção de Edifícios, Instituto Federal da Paraíba, Campina Grande, Brasil
[3] Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[4] Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[5] Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[6] Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[7] Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil
[8] Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil

RESUMO

A patologia na construção civil se refere à anomalias que podem representar incômodos estéticos ou danos estruturais que podem evoluir para o colapso da edificação. Nesse viés, a tomadas de medidas a partir de um diagnóstico precoce é essencial para promover a funcionalidade e longevidade de uma construção. Portanto, a pesquisa tem como objeto de estudo as rochas ornamentais e forros de madeira da Catedral de Nossa Senhora Mãe da Divina Graça, Parnaíba-PI, objetivando identificar possíveis causas e propor condutas terapêuticas adequadas para o tipo de material indicado. Através da literatura conceituada, procurou-se sanar as irregularidades presentes, evitando substituições que pudessem descaracterizar o marco cultural e histórico de grande relevância para a cidade. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que a algumas das manifestações patológicas encontradas se apresentavam em estado inicial e outras necessitavam de um tratamento específico para conter os danos, em especial a lápide de granito, a qual necessitou de um tratamento específico e de um profissional especializado, visando manter as características originais da peça. As demais manifestações patológicas foram corrigidas a partir da utilização de métodos normativos.
Palavras-chave: Patologia das edificações; engenharia diagnóstica; patrimônio histórico; recuperação estrutural; umidade.

ABSTRACT

Pathology in civil construction refers to anomalies that can represent aesthetic inconveniences or structural damage that can lead to the collapse of the building. In this context, taking measures based on early diagnosis is essential to promote the functionality and longevity of a construction. Therefore, this research focuses on the ornamental stones and wooden ceilings of the Cathedral of Our Lady Mother of Divine Grace, Parnaíba-PI, aiming to identify possible causes and propose appropriate therapeutic approaches for the type of material indicated. Through reputable literature,

the study sought to remedy the existing irregularities, avoiding replacements that could distort this cultural and historical landmark of great relevance to the city. According to the results obtained, it was found that some of the pathological manifestations were in an initial stage, while others required specific treatment to contain the damage, especially the granite tombstone, which required specific treatment and a specialized professional to maintain the original characteristics of the piece. The remaining pathological manifestations were corrected using standard methods.
Keywords: Building pathology; diagnostic engineering; historical heritage; structural restoration; maintenance.

1. INTRODUÇÃO

A patologia na construção civil, semelhante ao termo que se apresenta na medicina, se refere às anomalias em uma estrutura, gerando incômodos estéticos ou até mesmo danos estruturais. Nesse sentido, a engenharia diagnóstica tem como responsabilidade avaliar a manifestação patológica quanto à sua severidade, provendo soluções que possam inibir o surgimento de novas incidências ou até mesmo o colapso da estrutura.

Muitas veces, o uso de estruturas e revestimentos em madeira são, usados de maneira incorreta na na construção civil. A necessidade de normas regulamentadoras que envolvam a sua funcionalidade, as manifestações patológicas podem danificar tanto estruturas novas como estruturas antigas (Parra et al., 2022).

A deterioração estrutural advém de diversas causas, podendo ser motivada por materiais que não atendem às especificações técnicas, serviços executados da maneira incorreta ou pelo próprio envelhecimento da estrutura (Souza; Ripper, 1998). Além disso, manutenções preventivas demonstram-se eficazes para promover uma maior vida útil da edificação.

Segundo Brito (2014), a madeira pode ser definida como o conjunto de polímeros naturais, um material estrutural e de acabamento natural, renovável e anisotrópico, composto por fibras de celulose e lignina. No momento em que a árvore se forma, está sujeita ao desgaste por vários agentes, que podem corromper sua composição, sendo vulnerável ao ataque de varios tipos de fungos e insetos

Nesse contexto, as manifestações patológicas apresentam-se como inúmeras irregularidades em uma edificação, sobretudo como aberturas (fissuras, trincas ou rachaduras) e em danos por umidade. De acordo com Thomaz (2020), as trincas podem representar danos que variam entre um indício de perigo estrutural ou apenas representar um incômodo visual para seus frequentadores. A umidade, por sua vez, pode gerar mofos, bolores, eflorescências, degradação de revestimento ou até mesmo a deterioração de elementos estruturais (Machado; Alencar, 2020).

O Brasil é considerado mundialmente por sua produção e mercado de rochas ornamentais, destacando-se como um dos maiores produtores e detentor da maior geodiversidade de rochas ornamentais disponíveis. Destaca-se que o primeiro semestre de 2022, as exportações brasileiras atingiram um volume físico de 1,08 milhões de toneladas (Abirochas, 2022).

É importante destacar que apesar da importância comercial, poucos ensaios são realizados nas rochas beneficiadas, o que dificulta a previsão da qualidade e desempenho desses materiais após sua aplicação. Nesse sentido, a escolha adequada da rocha deve considerar não apenas os critérios estéticos, mas também, suas propriedades tecnológicas para garantir uma seleção adequada e resultados confiáveis em projetos de construção civil. Estudos que abordem essas questões são de extrema relevância para estabelecer uma relação sólida entre as rochas

ornamentais e sua utilização na construção civil (LACERDA e RIBEIRO, 2015; UTSCH e SILVEIRA, 2022; SANTANA e CASTILHO, 2023; NOVAES e VALE, 2023).

A compreensão e o conhecimento das manifestações patológicas em rochas ornamentais é essencial para solucionar problemas preventivos e corretivamente.

Portanto, é de suma importância que as anomalias sejam identificadas e corrigidas de maneira precoce, visando a economia em reparos e como um meio de proteção à estrutura da edificação. Logo, o presente estudo tem como objetivo analisar as manifestações patológicas presentes em pedras ornamentais e em forros de madeira da Catedral de Nossa Senhora Mãe da Divina Graça, em Parnaíba-PI, identificando possíveis causas e propondo as soluções adequadas. O enfoque da pesquisa se dá em evitar substituições que pudessem descaracterizar o patrimônio já tombado, procurando soluções alternativas eficientes.

2. METODOLOGIA

A fundamentação deste trabalho consistiu em um levantamento das manifestações patológicas, existentes na Catedral Nossa Senhora Mãe da Divina Graça, em Parnaíba-PI, como estudo de caso.

Para a análise diagnóstica, adotou-se a metodologia proposta por Lichtenstein (1985), conforme as diretrizes do Boletim Técnico 06/86 (Patologia das Construções: Procedimentos para Diagnóstico e Recuperação) e a Norma Brasileira ABNT NBR 16747:2020. O processo investigativo iniciou-se com vistorias locais para o mapeamento e registro fotográfico das anomalias existentes. A análise dos dados coletados buscou identificar as origens e causas dos danos, confrontando os que foi encontrado em campo com a literatura especializada para propor condutas terapêuticas adequadas.

Ressalta-se que, devido à impossibilidade de acesso a ensaios laboratoriais e equipamentos específicos, o diagnóstico baseia-se na inspeção visual e na interpretação técnica das anomalias observadas. Por fim, cabe mencionar que o estudo foi realizado mediante autorização formal da administração da Igreja para a realização dos registros fotográficos, reforçando o caráter ético e acadêmico da pesquisa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise visual da igreja permitiu a identificação de diversas manifestações patológicas, sobretudo em pedras ornamentais. Nesse viés, observou-se a presença de vários elementos da edificação feitos em rochas, como pisos, portadas, soleiras e algumas lápides encontradas de pessoas enterradas no local.

Nesse contexto, as principais anomalias encontradas foram na fachada, por estarem expostas à intempéries. Durante a vistoria, identificaram-se deformações (ICOMOS, 2008) nas portadas e soleiras da fachada principal, ambas executadas em pedra lioz original da construção. Adicionalmente, a Figura 1 ilustra pequenas rupturas superficiais, classificadas como fissuras segundo a terminologia do ICOMOS (2008).

Figura 1 – Portada em lioz com presença de fissuras



Fonte: os autores.

Na Figura 2, observa-se que as soleiras apresentam fissuras acentuadas, que comprometem a continuidade do material. Adicionalmente, identifica-se uma fissura na soleira da entrada principal que exibe vestígios de intervenção anterior; esta foi preenchida com algum material em uma tentativa prévia de restauro ou manutenção.

Figura 2 – Soleiras apresentando fissuras



Fonte: os autores.

No ambiente interno da edificação, por sua vez, foram identificadas anomalias em uma lápide de granito e em uma seção do piso de lioz. Conforme ilustra a Figura 3, a lápide apresenta uma fissura como manifestação patológica predominante. Já no pavimento, observa-se uma trinca visivelmente maior acompanhada por uma rede de fissuras menores.

Figura 3 – Lápide e piso de granito com anomalias



Fonte: os autores.

Para a hipótese diagnóstica, deve-se considerar que os elementos afetados são remanescentes da construção original, datada de aproximadamente 250 anos. Expostas ao intemperismo e à degradação natural ao longo dos séculos, a causa provável das manifestações patológicas reside na ausência de manutenção preventiva sistemática.

Quanto à conduta terapêutica, dada a alta relevância histórica e a autenticidade dos materiais, descarta-se a substituição das peças. Idealmente, opta-se pela conservação e restauro, visando estancar o processo de degradação. Conforme as diretrizes de Cardoso (2008), o tratamento deve contemplar a higienização com escovas de cerdas macias, o preenchimento de juntas, fissuras e fendas com argamassa de cal hidráulica e, por fim, a aplicação de hidrofugante para mitigar a ação da umidade. Neste caso, optou-se por recobrir as letras com fita adesiva e foi utilizada uma resina epóxi bicomponente para preenchimento da fissura, evitando assim o manchamento da pedra e também a danificação das letras, após secagem, foi realizado o lixamento e aplicado o hidrofugante.

As manifestações patológicas em forros de madeira e rochas ornamentais decorrem, majoritariamente, da interação entre agentes ambientais (umidade, variações térmicas e poluentes), falhas de especificação e execução, e ausência de manutenção preventiva. Em forros de madeira, predominam processos de biodeterioração (fungos e insetos xilófagos), empenamento e fissuração associados à higroscopicidade do material. Já nas rochas ornamentais, destacam-se alterações físico-químicas como manchas, eflorescências, desagregação granular e fissuras induzidas por tensões térmicas e infiltrações. Conclui-se que a durabilidade desses sistemas está diretamente condicionada ao controle das condições de exposição, à correta seleção dos materiais e à implementação de estratégias de manutenção periódica, sendo imprescindível uma abordagem integrada entre projeto, execução e uso para mitigar a evolução dos danos.

Ademais, foi possível observar anomalias em forros de madeira. Corroborando com hipóteses de umidade, observa-se que as manifestações patológicas do telhado não atingiram o núcleo da edificação, visto que a ocorrência de infiltrações diretas comprometeria a integridade do forro. As manifestações patológicas restringem-se às áreas ilustradas na Figura 4, localizadas nas adjacências das paredes da fachada e das torres. Nestes pontos, identifica-se o descolamento de elementos do rodapé do forro e a proliferação de colônias de fungos (manchas escuras), que avançam inclusive para as superfícies da alvenaria.

Figura 4 – Manifestações patológicas no forro de madeira



Fonte: os autores.

Como hipótese diagnóstica, reitera-se a influência da umidade proveniente do telhado, confirmada pela correlação entre as anomalias nas paredes adjacentes e o comprometimento do forro de madeira. Tais infiltrações favorecem o apodrecimento e a degradação biológica desse material (Oliveira; Oliveira; Araújo, 2019).

Referente à conduta terapêutica, uma vez sanada a causa primária (infiltração no telhado), recomenda-se a substituição das peças de madeira contaminadas por fungos.
Para correção do reboco, inicialmente foi identificado a causa e em seguida foi realizada a remoção de todo o reboco, pó e partículas soltas, em seguida foi aplicado um fundo reparador e um chapisco com aditivo adesivo para garantir que o reboco novo grude ao tijolo antigo. Por fim, procedeu-se com a aplicação da argamassa e após secagem aplicou-se a massa e realizou-se a pintura. A utilização de um material similar ao original é fundamental para conter a propagação biológica e manter a estética histórica (Miranda et al., 2002).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo promoveu uma análise técnica das manifestações patológicas na Catedral de Nossa Senhora Mãe da Divina Graça, ícone do patrimônio histórico de Parnaíba-PI, datado do século XVIII.

A aplicação do método escolhido, associada ao registro fotográfico e à inspeção sensorial, permitiu o diagnóstico de fissuras e danos associados à umidade em elementos fundamentais, como forros de madeira e pedras ornamentais. A investigação possibilitou não apenas a identificação das causas prováveis, mas também a proposição de condutas terapêuticas voltadas à preservação da integridade do monumento.

As manifestações patológicas em forros de madeira e rochas ornamentais decorrem, majoritariamente, da interação entre agentes ambientais (umidade, variações térmicas e poluentes), falhas de especificação e execução, e ausência de manutenção preventiva. Em forros de madeira, predominam processos de biodeterioração (fungos e insetos xilófagos), empenamento e fissuração associados à higroscopicidade do material. Já nas rochas ornamentais, destacam-se alterações físico-químicas como manchas, eflorescências, desagregação granular e fissuras induzidas por tensões térmicas e infiltrações. Conclui-se que a durabilidade desses sistemas está diretamente condicionada ao controle das condições de exposição, à correta seleção dos materiais e à implementação de estratégias de manutenção periódica, sendo imprescindível uma abordagem integrada entre projeto, execução e uso para mitigar a evolução dos danos.

Em suma, o trabalho reitera que o diagnóstico precoce e a manutenção preventiva são instrumentos indispensáveis para a proteção do patrimônio edificado, mitigando custos emergenciais e assegurando a longevidade da estrutura.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pelo suporte institucional e pela infraestrutura acadêmica que possibilitaram a realização desta pesquisa.

Além disso, agradecemos aos que se disponibilizaram a contribuir com a pesquisa e viabilizaram esse estudo, através de anamneses e permitindo os registros fotográficos da Catedral de Nossa Senhora Mãe da Divina Graça, possibilitando a preservação do patrimônio.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais -ABIROCHAS. (2022). Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais no 1º semestre de 2022.

BRITO, D. L.(2014). Patologia em Estruturas de Madeira: Metodologia de Inspeção e Técnicas de Reabilitação. 502f. (Tese de doutorado) – Universidade de São Paulo – USP. São Paulo – SP
ICOMOS. Glossário ilustrado das formas de deterioração da pedra. Paris: editora ICOMOS, 2008.

LACERDA, G. F.; RIBEIRO, R.C.C. Avaliação da degradação de rochas ornamentais pelo uso de produtos de limpeza. IN: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTIFICA, 23. Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015.

MACHADO, Kethllyen Miranda; ALENCAR, Euler André Barbosa de. **Levantamento de patologia causadas por umidade nas edificações na cidade de Manaus - AM**. Revista Científica Semana Acadêmica, Fortaleza-CE, v. 8, n. 202, 2020.

MIRANDA, Marcos Paulo de Souza; NOVAIS, Andréa Lanna Mendes; SANTOS, Frederico Bianchini Joviano dos; NOVAIS, Paula Carolina Miranda. **Manual básico de segurança e conservação do patrimônio cultural sacro**. Belo Horizonte: Ministério Público do Estado de Minas Gerais, 2002. Disponível em: https://dspace.sistemas.mpba.mp.br/handle/123456789/348. Acesso em: 20 fev. 2026.

NOVAES, R. C.; VALE, D. Avaliação da remoção de mancha de oxidação por meio da utilização de solução removedora de manchas em Quartzito Vancouver. Revista Ifes Ciência, v. 9, n. 2, p. 01-13, 2023. DOI: 10.36524/ric.v9i2.1878.

OLIVEIRA, Maximiliano Ramos; OLIVEIRA, Tayrielle Nunes Oliveira; ARAÚJO, Selma Carrijo. **Patologias nas edificações, seu diagnóstico, e suas causas**. IV Colóquio estadual de pesquisa multidisciplinar II Congresso nacional de pesquisa multidisciplinar: Ciência e tecnologia em busca de inovações empreendedoras, Mineiros, 2019. Disponível em: https://publicacoes.unifimes.edu.br/index.php/coloquio/article/view/842/829. Acesso em: 20 fev. 2026.

PARRA, D. A. C.; GALVÃO, J. P. P.; SILVA, J. S.; Patologias em estruturas de madeira. Research, Society and Development, v. 11, n. 8,2022.

SANTANA, M. A. K.; CASTILHO, E. D. F. Estudo comparativo de caracterizaçãtecnológica de rocha ornamental silicática telada com diferentes gramaturas. Revista Ifes Ciência, v. 9, n. 2, p. 01-11, 2023. DOI: 10.36524/ric.v9i2.1879.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em Edifícios**: Causas, prevenção e recuperação. 2. ed. rev. e aum. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

UTSCH, L. C. Q.; SILVEIRA, L. L. L. Análise dos índices físicos de três quartzitos submetidos à Impermeabilização por imersão. CETEM/MCTI: Rio de Janeiro, 2022.

CAPÍTULO 8 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/hfa7ew42
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/r7n5q657

AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: ESTUDO DE CASO DA CATEDRAL DE NOSSA SENHORA MÃE DA DIVINA GRAÇA

Maria Eduarda Velez Martins[1]*; Emmanuely Regina Araújo Diniz[2]; Luanna Amado da Silva[3]; Diego José Araújo Viegas[4]; Luana Dantas Medeiros[5]; Valter Ferreira de Souza Neto[6]; Chrysttyan Thales Ribeiro Félix[7]; Fabiana Xavier Costa[8];Ana Maria Gonçalves Duarte[9]
*Autor de contato: duda.velez@hotmail.com

[1] Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[2] Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[3] Doutoranda em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[4]Doutorando em Engenharia Civil, Unversidade de Pernambuco, Recife-PE, Brasil
[5]Doutoranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[6]Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[7]Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[8] Doutorado em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[9] Doutorado em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil

RESUMO

A prática de bons métodos construtivos regidos pela técnica normativa e adesão de manutenções preventivas sazonais corrobora para a longevidade de uma edificação. No entanto, a ausência de um desses fatores possibilita a manifestação de patologias, sejam elas severas ou superficiais. Nesse sentido, o presente trabalho fez uso da Catedral de Nossa Senhora Mãe da Divina Graça, Parnaíba-PI, como objeto de estudo, tendo como objetivo diagnosticar as principais manifestações patológicas incidentes e propor diretrizes terapêuticas para sua recuperação. Através do método de Lichtenstein (1985), contemplando inspeções visuais, registros fotográficos e anamneses, foi possível identificar patologias como fissuras e manifestações por umidade. Nesse contexto, a partir da literatura conceituada, foi possível encontrar causas e prover as condutas terapêuticas adequadas a cada caso, de maneira a promover a preservação do patrimônio histórico.
Palavras-chave: fissuras; método de Lichtenstein; engenharia diagnóstica; patrimônio histórico.

ABSTRACT

The practice of sound construction methods governed by normative techniques and adherence to seasonal preventive maintenance corroborates the longevity of a building. However, the absence of one of these factors enables the manifestation of pathologies, whether severe or superficial. In this sense, the present work utilized the Cathedral of Our Lady Mother of Divine Grace, Parnaíba-PI, as the object of study, aiming to diagnose the main incident pathological manifestations and propose therapeutic guidelines for its recovery. Through the Lichtenstein method (1985), encompassing visual inspections, photographic records, and anamnesis, it was possible to identify pathologies such as cracks and moisture-related manifestations. In this context, based on esteemed literature, it was possible to find causes and provide the appropriate therapeutic procedures for each case, in order to promote the preservation of the historical heritage.
Keywords: cracks; Lichtenstein method; diagnostic engineering; historical heritage.

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que a execução de uma edificação depende da execução de serviços condizentes com o estabelecido pelas normas vigentes, da qualidade dos materiais envolvidos no processo, de modo que atendam às especificações exigidas, e de eventuais manutenções que permitam, assim, prolongar o tempo de vida útil da obra. No entanto, o descumprimento de algum desses fatores pode provocar a manifestação de patologias.

Nesse sentido, é irrefutável que toda estrutura está susceptível a uma série de intempéries, e quando não se encontra em um perfeito estado de execução e manutenção, possui uma maior probabilidade de se deteriorar com acidentes superficiais ou críticos, podendo comprometer a segurança e funcionalidade desta. Portanto, a alta frequência desses incidentes tem provocado as autoridades a tomar as medidas cabíveis e impor o correto cumprimento das técnicas construtivas, sobretudo em medidas preventivas (Júnior; Barraza, 2021).

Nesse viés, semelhante ao campo da medicina, as manifestações patológicas na construção civil surgem como um indício de que há uma anomalia presente na edificação, provocando a engenharia diagnóstica a identificar tais irregularidades e agir da maneira adequada, buscando soluções técnicas. Tais estudos são essenciais para promover uma maior durabilidade da estrutura, especialmente a partir da identificação precoce da patologia, evitando, também, despesas elevadas associadas à medidas emergenciais de grande escala (Koerich, 2024).

Complementando o estudo, Lopes et al. (2024) afirma que falhas na execução de obras são responsáveis por mais da metade das patologias estruturais no Brasil, demonstrando a necessidade do domínio da técnica e medidas de prevenção para a preservação da edificação. Nesse contexto, o presente estudo visa avaliar as manifestações patológicas presentes na Igreja bicentenária Catedral Nossa Senhora Mãe da Divina Graça, na cidade de Parnaíba, identificando possíveis causas e soluções para o surgimento destas. A escolha da estrutura justifica-se pela importância histórica, cultural e arquitetônica para a população local. A metodologia escolhida para conduzir o estudo foi a de Lichtenstein (1985), por se tratar de um procedimento prático e intuitivo.

2. METODOLOGIA

O método da pesquisa consistiu, a princípio, em uma revisão bibliográfica acerca dos estudos de manifestações patológicas e na escolha do objeto de estudo, que posteriormente viria a ser a Catedral Nossa Senhora Mãe da Divina Graça, da cidade de Parnaíba-PI.

Em seguida, a metodologia de Lichtenstein (1985) fora utilizada para identificar as patologias presentes na estrutura, realizando-se uma vistoria na edificação e realizando registros fotográficos pertinentes à pesquisa. A partir disso, houve a análise destes, buscando compreender as causas, através da literatura estudada, e, desse modo, prover condutas terapêuticas cabíveis para cada caso. Ademais, entrevistas com frequentadores da igreja foram realizadas como um meio de fonte de informação acerca das anomalias identificadas.

A escolha do método de Lichtenstein (1985), apresentado no Boletim Técnico 06/86, Patologia das Construções: Procedimentos para Diagnóstico e Recuperação, justifica-se por ser um procedimento prático, acessível e de simples compreensão. No entanto, a pesquisa estará restrita à vistoria e anamnese da edificação, não contemplando a adesão de exames complementares, uma vez que não foi possível o acesso de equipamentos e laboratórios para tal.

Nesse contexto, a caracterização da estrutura fundamentou-se na busca por documentos junto ao Escritório Técnico do IPHAN-PI, em Parnaíba, e ao Instituto Histórico, Geográfico e Genealógico de Parnaíba (IHGGP). No entanto, as referidas instituições não dispunham de acervo documental acessível para consulta no período desta pesquisa.

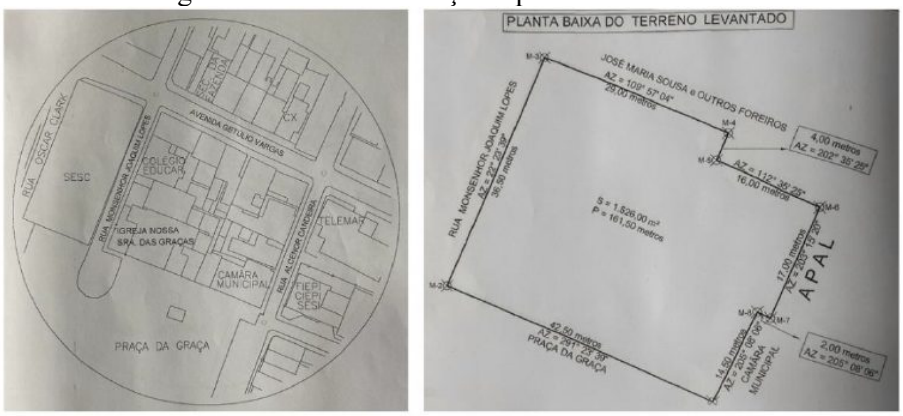
Ademais, a coleta de dados incluiu a solicitação formal à Secretaria Paroquial da Catedral para consulta a plantas, documentos técnicos, histórico de obras e autorização para registros fotográficos. O pedido foi autorizado, contudo, constatou-se que o acervo institucional limitava-se a um levantamento topográfico datado de 2016, sem a presença dos demais documentos técnicos pleiteados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Levantamento de subsídios

Conforme os dados obtidos no acervo da Secretaria Paroquial (Figura 1), o terreno da Igreja de Nossa Senhora Mãe da Divina Graça ocupa um lote de 1.526,00 m² no centro de Parnaíba. O perímetro, totalizando 161,50 m, define-se por uma frente de 42,50 m (Praça da Graça) e lateral direita de 36,50 m (Rua Monsenhor Joaquim Lopes). As divisas à esquerda e ao fundo apresentam geometria irregular (segmentos quebrados), confrontando-se, respectivamente, com equipamentos públicos (Câmara municipal e Academia de Letras) e propriedades particulares (PARNAÍBA-PI, 2016).

Figura 1 - Planta de situação e planta baixa do lote



Fonte: Parnaíba-PI (2016).

O terreno é composto pela Catedral nossa Catedral Nossa Senhora Mãe da Divina Graça, com 982,00m², salão paroquial com dois pavimentos, com 218,50m², e uma sala administrativa, com 28m² (PARNAIBA-PI, 2016). Proprietária: Diocese de Parnaíba, CNPJ nº 06.550.586/0001-44. Os métodos construtivos empregados, por sua vez, estão descritos no Quadro 1, retirado do inventário produzido pela Fundação Estadual de Cultura e Desporto do Piauí e do Ministério da Cultura – 3ª CR e apoiado pela Prefeitura Municipal de Parnaíba.

Quadro 1 – Inventário da Catedral

IPAC PI

INVENTÁRIO DE PROTEÇÃO DO ACERVO CULTURAL DO PIAUÍ
Arquitetura Religiosa — Parnaíba. BRASIL
FUNDEC / PI — MINISTÉRIO DA CULTURA — IPHAN / 3°CR

Ficha: PA rl 01

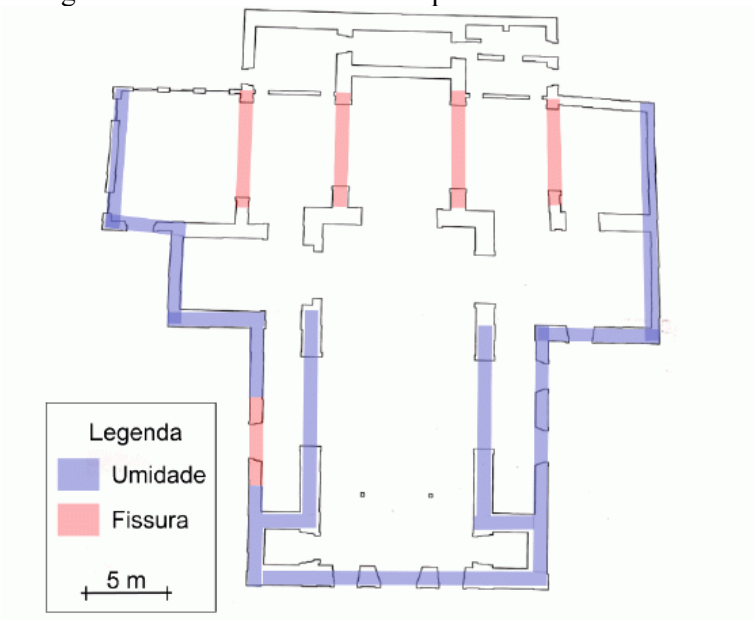
Designação: IGREJA MATRIZ DE NOSSA SENHORA DAS GRAÇAS			
Localização: distrito Sede. Pça. da Graça			
Proprietário: Diocese do Piauí			
Proteção legal: desprovida		Proteção proposta: tombamento em conjunto	
Uso atual: culto religioso	Á. projeção: 1.573 m2	Á. lote: 1.746 m2	Taxa ocup.: 90,09 %
Implantação: em quadra comum	Torres: quadradas c/ cobertura piramida		Frontão: ondulado
Telhado: tipo francesa	Estr. da cobertura: tesoura de linha alta		Alvenarias: pedra
Forros: abóbada	Beirais: bica-e-cimalha		Óculos:
Vergas: abatidas	Vedações: almofadas e calha		Bandeiras:
Enquadros: madeira	Balaustrada de coro: madeira recortada		Pintura alv.: látex
Portadas: lioz trabalhado	Cunhais: massa	Púlpitos: madeira móvel	Pintura esq.: esmalte
Grades: ferro fundido	Ferragens: dobrad. de leme-e-cachimbo e ferrolhos forjados		
Pisos int.: ardósia e tab. corrido	ext.: c. portug	soleiras: pedra	
Est. de conservação: bom com descaracterização parcialmente reversível			Época: 1770-1936
Ambientação: no conj. de interesse de preservação		Intervenção proposta: agenciamento interno e ext.	
Arte aplicada: Retábulos, forros, portadas lioz e silharia de azulejos de manufatura portuguesa.			
Obs.: O prédio vem sofrendo processo de descaracterização com pinturas impermeáveis, pisos de ardósia e telhado de telhas planas tipo francesa e de amianto.			

Fonte: Ministério da Cultura (1997).

3.2. Diagnóstico e condutas terapêuticas

A partir de uma inspeção visual minuciosa, observou-se que a maior parte das anomalias identificadas estão relacionadas à presença de umidade. Foi possível identificar a presença de água em todas as paredes da fachada, de fissuras e trincas em uma porta e em estruturas de arcos internos. Nesse viés, a Figura 2 apresenta um mapeamento das anomalias, possibilitando a identificação do local das incidências.

Figura 2 – Planta baixa com o mapeamento das anomalias



Fonte: Adaptado de Ministério da Cultura (1997).

De acordo com os estudos de Souza e Ripper (1998), manifestações patológicas associadas à umidade são de fácil resolução. No entanto, a incidência de fissuras requer uma análise minuciosa para a identificação de suas causas, necessitando de um profissional capacitado para a solução.

3.2.1. Fissuras

A inspeção local revelou uma incidência de fissuras inferior à prevista. As aberturas não apresentavam desconformidades, exceto pela porta da Figura 3, que exibe fissuras diagonais nos vértices. Segundo Caporrino (2018), tais manifestações em alvenaria estrutural decorrem da concentração de tensões de tração nos vãos. O diagnóstico aponta para uma falha executiva pontual na verga artesanal dessa abertura específica. Observando a estabilidade da estrutura ao longo do tempo, conclui-se que são fissuras passivas, sem riscos estruturais e de natureza estritamente estética.

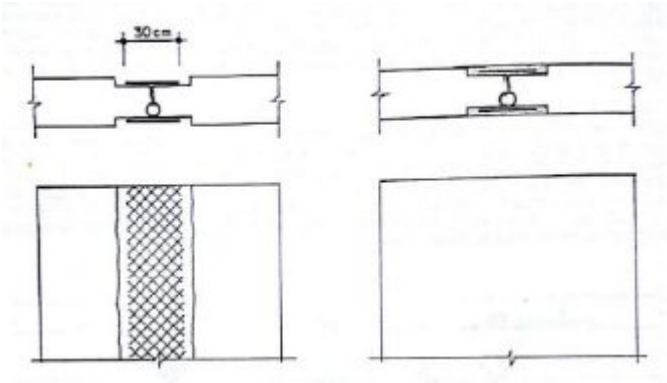
Figura 3 – (A) Localização das fissuras no portal; (B) ampliação da fissura à direita; (C) ampliação da fissura à esquerda



Fonte: os autores.

Como conduta terapêutica, Thomaz (2020) recomenda a recuperação superficial com bandagens ou telas de náilon para fissuras por enfraquecimento em aberturas. Para restaurar o comportamento monolítico, indica-se a inserção de armadura ou telas metálicas no revestimento, devendo estas avançar em 15 cm além das bordas da fissura para garantir a aderência (Figura 4).

Figura 4 – Esquema de recuperação da parede fissurada com emprego de tela metálica



Fonte: Thomaz (2020).

Identificaram-se trincas em quatro arcos na região do altar (Figura 5), com aberturas estimadas visualmente acima de 0,5 mm. De acordo com a classificação de Oliveira et al. (2017), tal dimensão caracteriza essas manifestações como trincas, e não meras fissuras. Ressalta-se que a anomalia é isolada, visto que os demais arcos da edificação não apresentam desconformidades.

Figura 5 – Fissuras em arcos



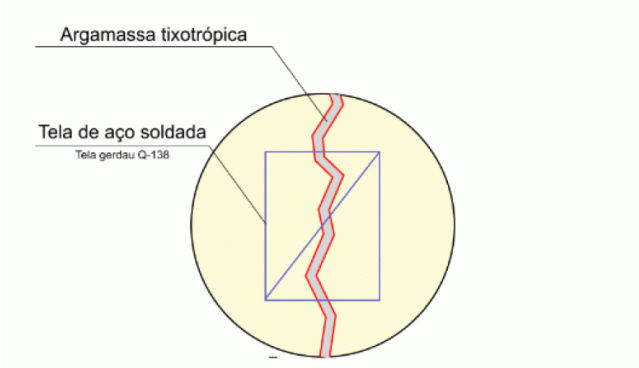
Fonte: os autores.

Considerando a estrutura de alvenaria de pedra, Pillet (1895, apud Nunes, 2009) associa o colapso em arcos à perda de equilíbrio estático, atrito entre as aduelas ou resistência ao esmagamento, manifestada por rotação das arestas, deslizamento de aduelas ou esmagamento do material. Na inspeção, observou-se que as trincas localizam-se no eixo central de quatro arcos paralelos na região do altar, sugerindo rotação das aduelas e instabilidade nas colunas de suporte.

Embora o monitoramento sazonal fosse ideal para classificar a atividade das trincas, a anamnese com frequentadores antigos e a ausência de registros de intervenções recentes indicam que as manifestações patológicas são estáveis (passivas), dada a antiguidade da edificação sem evolução para colapso. Assim, a hipótese diagnóstica aponta para um recalque diferencial dos pilares, gerando tensões de cisalhamento e rotação nos arcos. Tal fenômeno pode estar associado à interação solo-fundação, agravada pela proximidade de 350 metros com o Rio Igaraçu.

Embora o inventário não conste informações sobre a técnica de fundação utilizada, infere-se o uso de fundações diretas em alvenaria de pedra, técnica comum ao período colonial e observada em edificações vizinhas (Colin, 2010). Tal sistema apresenta baixa performance em situações de pouca estanqueidade e elevada quantidade de água (Santos *et al.*, 2021). Devido ao tombamento pelo IPHAN, descartou-se a reconstrução em concreto armado, optando-se pela solução de Santos *et al.* (2021): emprego de telas de aço soldadas e argamassa tixotrópica. Essa intervenção promove a solidarização dos trechos danificados e a redistribuição das tensões de cisalhamento sem descaracterizar o monumento (Figura 6).

Figura 6 – Esquema da solução com tela e argamassa tixotrópica



Fonte: Adaptado de Santos et al. (2021).

3.2.2. Umidade

A vistoria identificou elevada umidade nas paredes da fachada e no entorno das torres, com manifestações em ambas as faces da alvenaria (Figura 7). Essa infiltração resultou em danos como manchas, bolores, eflorescências e desagregação do revestimento.

Figura 7 – Presença de umidade nas paredes



Fonte: Os autores.

A anamnese com frequentadores e a Secretaria Paroquial confirmou a recorrência de umidade sazonal, persistente mesmo após reforma recente na cobertura. A inspeção revelou que as manifestações patológicas se concentram nas paredes das fachadas e torres, sem sinais de infiltração no forro ou divisórias internas, evidenciando falhas na interface entre o telhado e o coroamento das alvenarias. Verificou-se que a cobertura original (telha francesa e beira-e-bica) foi descaracterizada pelo uso de telhas coloniais e de fibrocimento. Ademais, a ausência de calhas e pingadeiras agrava o quadro, permitindo o escoamento direto das águas pluviais sobre as paredes.

Além da ausência dos elementos necessários para o escoamento de água pluviais supracitados, em uma inspeção visual detalhada do telhado, identificou-se, ainda, a ausência de rufos, corroborando para o diagnóstico de que estas seriam as razões para a presença de problemas associados à umidade. Nesse sentido, a Figura 8 apresenta situações em que a execução de rufos foi feita de forma inadequada, intensificando o problema, demonstrando que as reformas recentes citadas seriam, na verdade, apenas um retelhamento, o que não corrigiria o problema.

Figura 8 – Detalhes da cobertura



Fonte: Os autores.

Conforme Souza (2008), a preservação de fachadas contra águas pluviais fundamenta-se no controle do escoamento, na dispersão de fluxos concentrados e na proteção de pontos vulneráveis. Como conduta terapêutica, recomenda-se a instalação de rufos na interface entre telhado e alvenaria, além de calhas e condutores verticais dimensionados conforme a NBR 10844/1989. Adicionalmente, propõe-se a aplicação de pingadeiras nas torres para impedir o escoamento direto sobre as paredes, mitigando as manifestações patológicas decorrentes da infiltração.

3.2.2.1. Eflorescências

Durante a vistoria foram contempladas eflorescências, apresentadas como manchas de coloração branca nas paredes (Figura 9), originada pela deposição de sais cristalinos na superfície do revestimento.

Figura 9 - Eflorescências



Fonte: os autores.

O diagnóstico da manifestação patológica associa a infiltração proveniente da cobertura à presença de sais solúveis na alvenaria (Bauer, 2008). Segundo Granato (2002), o longo período de secagem relatado na anamnese, somado às altas temperaturas locais, favorece o surgimento da anomalia. Como conduta terapêutica, após a estanqueidade da umidade e a secagem completa do substrato, recomenda-se a renovação do revestimento, visto que a manifestação patológica possui caráter estritamente estético (Caporrino, 2018).

3.2.2.2. Manchas e fungos

Observou-se, ainda, a presença de manchas de coloração escura nas paredes, evidenciando a presença de fungos (Figura 10). Nesse viés, de acordo com Caporrino (2018), é comum o aparecimento de manchas em fachadas que apresentam fluxos de água indesejados, incitando a exposição à umidade.

Figura 10 – Manchas e fungos nas paredes internas e fachada



Fonte: os autores.

O diagnóstico aponta a exposição prolongada à umidade proveniente da cobertura como causa principal, agravada internamente pela ventilação deficiente e baixa incidência de raios solares. Como conduta terapêutica, após a estanqueidade das infiltrações, Montecielo e Edler (2016) recomendam a limpeza das áreas afetadas com solução de hipoclorito de sódio e água (na proporção 1:1), com tempo de ação de 4 horas, seguido de enxágue. Em superfícies externas, também indica-se o hidrojateamento e, após a secagem completa do substrato, a recomposição da camada de pintura.

3.2.2.3. Descolamento com empolamento, descascamento e desagregação

Ademais, as manifestações patológicas de revestimento identificadas incluem empolamento, descascamento da película de pintura e desagregação do reboco. Tais manifestações foram agrupadas em um único tópico por apresentarem ocorrência simultânea e localizada nas mesmas regiões de infiltração, conforme evidenciado na Figura 11.

Figura 11 – Empolamento, desagregação e descascamento do revestimento



Fonte: os autores.

A anamnese revelou que a última pintura ocorreu em 2019, período em que as infiltrações já eram recorrentes. Nesse sentido, chegou-se à conclusão de que a aplicação de massa e tinta sobre o substrato úmido, aliada à umidade persistente, causou a desagregação e o estado pulverulento do reboco. Como conduta terapêutica, recomenda-se a renovação integral do reboco e da pintura nas áreas com descolamento e empolamento (Caporrino, 2018). Já para os trechos que apresentam apenas descascamento da película, indica-se a repintura após a completa secagem da parede.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo das manifestações patológicas na Catedral de Nossa Senhora Mãe da Divina Graça, em Parnaíba-PI, permitiu diagnosticar o estado de conservação deste importante patrimônio. Utilizando o método de Lichtenstein — fundamentado em anamnese, levantamento documental e inspeção visual — foi possível identificar as causas das anomalias e propor condutas terapêuticas adequadas.

Os resultados demonstram que a maioria das manifestações patológicas (manchas, bolores, eflorescências e desprendimentos) possui origem na umidade e apresenta caráter predominantemente estético e de simples resolução. Em contrapartida, as trincas identificadas nos

arcos do altar configuram danos de maior complexidade, exigindo monitoramento especializado para garantir a integridade estrutural.

Em suma, o trabalho reitera a necessidade de um controle eficaz do escoamento pluvial como medida preventiva crucial. Esta análise multidisciplinar serve como base técnica para futuras intervenções de restauro, visando a longevidade estrutural e a preservação do patrimônio histórico e cultural da região.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pelo suporte institucional e pela infraestrutura acadêmica que possibilitaram a realização desta pesquisa.

Estendemos os agradecimentos aos que se disponibilizaram a contribuir com a pesquisa, fornecendo toda a informação necessária acerca a Catedral de Nossa Senhora Mãe da Divina Graça, viabilizando o presente estudo e reiterando a importância histórica e cultural da igreja.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10844: **Instalações Prediais de Águas Pluviais**. Rio de Janeiro, 1989.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Ver. Rio de Janeiro: LTC, 2008. v. 2.

CAPORRINO, Cristiana Furlan. **Patologias em Alvenarias**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. ISBN 978-85-7975-304-6. *E-book*.

COLIN, Silvio. **Técnicas construtivas do período colonial - IV**: Coisas da arquitetura. [*S. l.*], 2010. Disponível em: https://coisasdaarquitetura.wordpress.com/2010/09/06/tecnicas-construtivas-do-periodo-colonial-%e2%80%93-iv/. Acesso em: 14 fev. 2026.

GRANATO, José Eduardo. **Patologia das Construções**. [*S. l.*], 2002. Disponível em: http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadasconstrucoes2002.pdf. Acesso em: 28 jan. 2026.

KOERICH, Francine. **Manutenção e recuperação de fachadas: estudo de caso em edificação multifamiliar em Florianópolis - SC. 2024**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/261676/TCC_Francine_Koerich-_Revisado.pdf. Acesso em: 22 maio 2024.

Lopes, C., et al. (2024). **Diagnóstico de falhas em residências populares**. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Civil.

NUNES, Patricia Cristina Cunha. **Teoria do arco de alvenaria: uma perspectiva histórica**. Orientador: LINEU JOSÉ PEDROSO. 2009. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasília, 2009. Disponível em: http://repositorio.unb.br/handle/10482/4465. Acesso em: 20 fev. 2026.

OLIVEIRA, Jorge Antonio da Cunha; NASCIMENTO, Raíssa Soares do; PEREIRA, Bárbara Cicuto Gonçalves; TEIXEIRA, Amanda Rosa; NÓBREGA, Érica Silva Da. **Inspeção predial e avaliação das manifestações patológicas do subsolo em edificação residencial localizada no distrito federal: estudo de caso condomínio residencial 116 norte**. XIX COBREAP, Foz do Iguaçu, 2017. Disponível em: https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2017/08/095.pdf. Acesso em: 15 fev. 2026.

PILLET, J. (1895). "**Traité de Stabilité des Constructions**". Paris: Baudri.

SANTOS, Pablo Juan Lopes e Silva; VIANA, Carlos Henrique Leal; SILVA, Thais Alves e; SANTOS, Hudson Chagas dos. **Arquitetura em arcos e soluções de recuperação estrutural: estudo de caso da Igreja Matriz de Nossa Senhora do Amparo, Teresina-PI**. Revista Tecnologia, Fortaleza, v. 42, n. 2, junho 2021.

SOUZA, Marcos Ferreira de. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações**. Orientador: Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva. 2008. Dissertação (Especialiosta em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da UFMG, [*S. l.*], 2008. Disponível em: https://www.academia.edu/37931377/Universidade_Federal_de_Minas_Gerais_PATOLOGIAS_OCASIONADAS_PELA_UMIDADE_NAS_EDIFICA%C3%87%C3%95ES_. Acesso em: 26 jan. 2026.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

TAMBARA JÚNIOR, Luis Urbano Durlo; BARRAZA, Madeleing Taborda. **Patologia das construções**. 1. ed. Indaial: Arqué, 2021.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em Edifícios**: Causas, prevenção e recuperação. 2. ed. rev. e aum. São Paulo: Oficina de Textos, 2020

CAPÍTULO 9 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/wjf3b471
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/wef4vr34

AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE TANQUES FILTROS EM CONCRETO ARMADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM MANAUS-AM

Larissa Lázara Mesquita Cavalcante Seixas[1]*, Lucas Barroso Golçalves[2]; Domingos Sávio Pinheiro Coelho[3]; Bárbara dos Santos Barboza[4] e David Brandão Nunes[5]
*Autor de contato: eng.larissalazara@gmail.com

[1] Engenheira Civil, Mestranda do PPGEC, UFAM, Manaus, Brasil
[2] Engenheiro Civil, Esp. em Estruturas de Concreto, Alvenarias, Fundações e Contenções, Manaus, Brasil
[3] Engenheiro Civil, Konkrex Engenharia de Concreto, Manaus, Brasil
[4] Estudante de Engenharia Civil, UEA, Manaus, Brasil
[5] Professor do Departamento de Engenharia Civil, UFAM, Manaus, Brasil

RESUMO

A presente pesquisa apresenta uma análise técnica pormenorizada das condições estruturais de dois tanques de filtração, o Tanque Filtro 15 (ETA 01) e o Tanque Filtro 06 (ETA 02), situados na Estação de Tratamento de Água do Complexo da Ponta do Ismael, em Manaus-AM. Foram conduzidas inspeções visuais detalhadas, ensaios laboratoriais destrutivos e não destrutivos, e verificações estruturais para diagnosticar anomalias e manifestações patológicas. Os resultados indicam que, apesar de ambas as estruturas apresentarem estabilidade estrutural geral e ausência de ataque por carbonatação ou cloretos livres, foram identificadas degradações superficiais e localizadas. O estudo conclui pela necessidade de intervenções corretivas e preventivas, notadamente relacionadas ao desgaste físico e à deficiência de proteção mecânica e impermeabilização, a fim de restaurar a integridade, a funcionalidade e prolongar a vida útil dos tanques.

Palavras-chave: *patologia das construções; concreto; durabilidade*

ABSTRACT

This research presents a detailed technical analysis of the structural conditions of two filtration tanks, Filter Tank 15 (WTP 01) and Filter Tank 06 (WTP 02), located at the Water Treatment Plant of Ponta do Ismael Complex, in Manaus-AM. Detailed visual inspections, destructive and non-destructive laboratory tests, and structural verifications were conducted to diagnose anomalies and pathological manifestations. The results indicate that, despite both structures exhibiting overall structural stability and the absence of carbonation or free chloride attack, superficial and localized degradations were identified. The study concludes that corrective and preventive interventions are necessary, notably related to physical wear and deficiencies in mechanical protection and waterproofing, to restore integrity, functionality, and extend the service life of the tanks.

Keywords: *building pathology; concrete; durability*

1. INTRODUÇÃO

Estruturas em concreto armado inseridas em Estações de Tratamento de Água (ETA) estão submetidas a condições ambientais particularmente severas do ponto de vista da durabilidade. A presença constante de umidade, ciclos de saturação, variações de nível d'água e a movimentação de partículas sólidas durante o processo de filtração configuram um ambiente potencialmente agressivo. Nessas condições, mecanismos de deterioração físicos e químicos podem atuar simultaneamente, influenciando diretamente a vida útil da estrutura (MEHTA; MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 2016; ACI 201.2R, 2016).

A NBR 6118:2023 estabelece que a durabilidade deve ser tratada como requisito fundamental de projeto, exigindo compatibilização entre classe de agressividade ambiental, qualidade do concreto, cobrimento das armaduras e detalhamento construtivo (ABNT, 2023). A norma associa ambientes permanentemente úmidos ou sujeitos à saturação a classes de agressividade que demandam maior rigor no controle tecnológico e na proteção das armaduras. Em estruturas hidráulicas, a exposição contínua à água pode favorecer processos como lixiviação de hidróxidos, carbonatação em zonas alternadamente secas e úmidas e eventual contaminação por cloretos, dependendo das condições operacionais (HELENE, 1993; NEVILLE, 2016).

A carbonatação consiste na reação do dióxido de carbono atmosférico com os produtos de hidratação do cimento, promovendo a redução do pH da solução intersticial do concreto. A diminuição da alcalinidade compromete a estabilidade da camada passivadora do aço, podendo levar à despassivação das armaduras quando a frente carbonatada atinge o cobrimento (TUUTTI, 1982; CASCUDO, 1997). Já o ataque por cloretos está relacionado à penetração de íons capazes de romper localmente essa camada passiva, induzindo corrosão localizada, mesmo em meios ainda alcalinos (CASCUDO, 1997; MEHTA; MONTEIRO, 2008). Ambos os mecanismos são amplamente reconhecidos como causas recorrentes de deterioração em estruturas de concreto armado expostas a ambientes agressivos.

Entretanto, em estruturas hidráulicas operando com fluxo contínuo e movimentação de partículas sólidas, mecanismos físicos podem assumir papel predominante. A abrasão hidráulica resulta do impacto, atrito e rolamento de partículas transportadas pelo fluxo, promovendo desgaste progressivo da superfície do concreto. De acordo com o ACI 210R (2008), a erosão e a abrasão em estruturas hidráulicas são fenômenos capazes de remover a pasta cimentícia superficial, expor agregados e reduzir gradativamente a espessura de cobrimento, independentemente da ocorrência de processos químicos ativos. O ACI 201.2R (2016) ressalta que ambientes sujeitos à ação combinada de água e sólidos em suspensão exigem consideração específica quanto à resistência à abrasão e à proteção superficial.

Segundo Neville (2016), a resistência do concreto à abrasão está relacionada à qualidade da matriz cimentícia, à aderência pasta-agregado e ao grau de compactação, sendo que concretos com baixa resistência superficial tendem a apresentar desagregação progressiva quando submetidos a ação mecânica repetitiva. Em tanques filtros, onde há mobilização periódica de areia e brita no processo de filtração, o desgaste físico pode evoluir para exposição prematura das armaduras, especialmente quando inexistem camadas de proteção mecânica adicionais.

Nesse contexto, sistemas de proteção superficial, como camadas de proteção mecânica associadas à impermeabilização, desempenham papel relevante na mitigação do desgaste físico. Essas camadas funcionam como elemento sacrificial, absorvendo parte da energia mecânica das partículas em movimento e preservando o concreto estrutural subjacente (ACI 210R, 2008). Assim,

a avaliação comparativa entre estruturas com e sem proteção mecânica permite discutir, sob perspectiva técnica e científica, o papel dessa camada na durabilidade de tanques filtros submetidos a ambiente abrasivo contínuo.

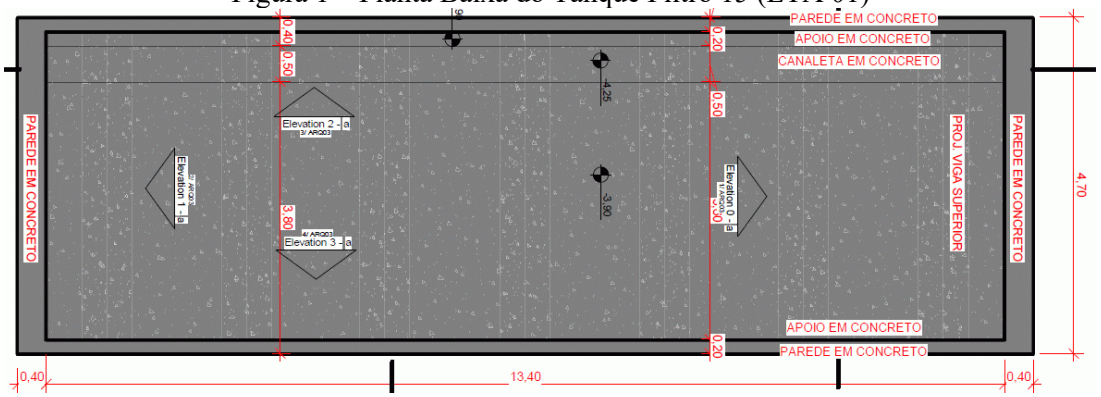
O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise da condição atual e da integridade estrutural de dois tanques em concreto armado que pertencem à Estação de Tratamento de Água do município de Manaus - AM. Buscou-se identificar a presença de eventuais anomalias, manifestações patológicas, avaliar o estado de conservação dos elementos estruturais.

2. METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada anamnese e coleta de informações, seguidas de visitas técnicas para avaliação das condições dos tanques. Durante as vistorias, foram registrados os aspectos observados em campo, bem como executados os ensaios necessários à caracterização das estruturas. Ressalta-se que, em alguns casos, não foi possível medir diretamente as seções dos elementos estruturais, em razão da limitação na abertura de janelas de inspeção.

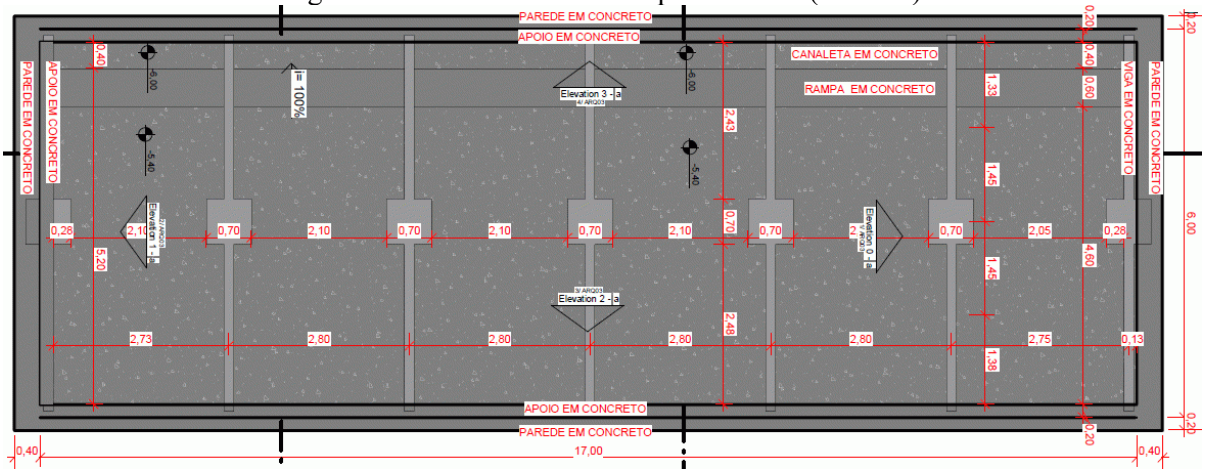
Os tanques analisados não foram selecionados de forma amostral pelos autores, tendo sido indicados pela administração da Estação de Tratamento de Água em função da necessidade de intervenção para reforma, motivada pela presença de manifestações patológicas previamente identificadas. Dessa forma, o estudo caracteriza-se como uma análise de caso aplicada, com foco na avaliação técnica das condições estruturais e de durabilidade.

Figura 1 – Planta Baixa do Tanque Filtro 15 (ETA 01)



Fonte: Autores.

Figura 2 – Planta Baixa do Tanque Filtro 06 (ETA 02)



Fonte: Autores.

Durante as inspeções, foram avaliados os seguintes elementos estruturais: laje de fundo, paredes laterais e vigas superiores, com ênfase na identificação de manifestações patológicas, integridade do concreto e condições de durabilidade.

A avaliação das armaduras foi realizada por meio da abertura pontual de janelas de inspeção, permitindo a verificação direta do posicionamento, diâmetro e estado de conservação das barras de aço. Complementarmente, foi realizado ensaio de pacometria, com o objetivo de verificar, de forma não destrutiva, a continuidade e repetibilidade das condições observadas nas regiões inspecionadas, ampliando a representatividade da análise.

A modelagem geométrica das estruturas foi desenvolvida com o auxílio do software Autodesk Revit, permitindo a representação tridimensional dos tanques. A análise estrutural foi conduzida por meio do software TQS, considerando as ações permanentes, variáveis, hidrostáticas e geotécnicas, em conformidade com os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023.

Os pontos de extração dos corpos de prova foram definidos em regiões representativas dos elementos estruturais, incluindo laje de fundo, paredes e vigas superiores, de modo a abranger diferentes condições de exposição e estado de conservação.

2.1 Histórico

2.1.1 Tanque 1

O Tanque 1 (Figura 1) em estudo apresenta cerca de 30 anos de utilização e foi integralmente executado em concreto armado. Possui uma camada de proteção mecânica em argamassa, que, conforme os indícios observados, integra o sistema de impermeabilização da estrutura.

Projetado para atuar como filtro, o tanque possuía um piso elevado, recentemente removido para viabilizar os estudos e a execução das intervenções de recuperação. Sobre esse piso estavam dispostas sucessivas camadas de agregados graúdos e miúdos, materiais estes essenciais ao processo de filtração, os quais eram periodicamente mobilizados no interior do tanque para o adequado tratamento da água.

Figura 3 – Vista do tanque 1



Fonte: Autores.

2.1.2 Tanque 2

O Tanque 2 (Figura 2) em análise possui aproximadamente 22 anos de operação e foi integralmente executado em concreto armado. Destaca-se que a estrutura não dispõe de camada de proteção

mecânica em argamassa; apresenta apenas uma fina e desagregada camada remanescente do sistema original de impermeabilização.

Projetado para atuar como filtro, o tanque possuía um piso elevado, recentemente removido para viabilizar os estudos e a execução das intervenções de recuperação. Sobre esse piso estavam dispostas sucessivas camadas de agregados graúdos e miúdos, materiais estes essenciais ao processo de filtração, os quais eram periodicamente mobilizados no interior do
tanque para o adequado tratamento da água.

Figura 4 – Vista do tanque 2



Fonte: Autores.

2.2 Vistorias e ensaios

Para a identificação e análise com foco na durabilidade da estrutura, foram realizadas vistorias técnicas, acompanhadas do mapeamento detalhado dos fenômenos patológicos presentes no concreto, bem como a execução de ensaios físicos e químicos específicos. Durante a vistoria, todas as manifestações patológicas foram mapeadas minuciosamente.

Foi realizada sondagem SPT nas imediações dos tanques, conforme a ABNT NBR 6484:2020, com o objetivo de avaliar as condições do solo no entorno das estruturas.

Com o objetivo de avaliar a resistência à compressão do concreto utilizado nas estruturas dos tanques, realizou-se a extração de testemunhos cilíndricos, atendendo aos requisitos da ABNT NBR 7680-1 - Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Considerando a necessidade de preservar a integridade estrutural dos reservatórios e minimizar eventuais danos, optou-se pela extração de apenas um corpo de prova em cada elemento estrutural analisado: laje de fundo, parede de concreto e vigas superiores. Após a extração, os corpos de prova foram devidamente identificados, regularizados e submetidos ao ensaio de compressão axial em prensa hidráulica, com o registro da carga máxima suportada por cada unidade.

A determinação da frente de carbonatação é um método utilizado para avaliar a penetração de dióxido de carbono (CO2) na superfície de concreto endurecido. Esse processo leva à formação de carbonatos cálcicos e alcalinos e a uma redução do valor do pH da solução aquosa presente nos interstícios do concreto, que acaba ficando com um pH próximo de neutro (Perdrix, 1992, p.76), propiciando a ocorrência da corrosão das barras de aço por carbonatação.

Para o ensaio de carbonatação foi utilizado uma solução alcoólica com 1% fenolftaleína em que é aspergido no concreto recém fraturado. O ensaio indica o pH do concreto através de uma mudança da coloração do mesmo (Tabela 1). Quando a coloração é rosa, significa que a região possui o PH natural do concreto, e incolor um PH abaixo deste valor. O ensaio foi realizado conforme recomendações do RILEM TC056 CPC 18 - Measurement of hardened concrete carbonation depth.

Tabela 1 - Valores de pH do concreto.

pH	Coloração	Situação
< 8,30	Incolor	Carbonatada
9,50 > pH > 8,30	Rosa-Vermelho-Carmim	Não Carbonatada
> 9,50	Vermelho-Carmim	Não Carbonatada

Fonte: Tomazeli, 2019.

3. RESULTADOS

3.1 Inspeção Visual

3.1.1 Tanque 1

Foram identificadas manifestações patológicas predominantemente superficiais, incluindo desagregação da camada de proteção mecânica em argamassa, manchamentos superficiais e pontos de vazamento localizados.

Figura 5 – Desagregação da camada de proteção mecânica do tanque 1.



Fonte: Autores.

3.1.2 Tanque 2

Foram observadas manifestações patológicas mais severas e disseminadas, incluindo desagregação significativa do concreto (Figura 5), manchamentos extensos, fissuras e múltiplos pontos de vazamento localizados.

Figura 6 – Vista aproximada da parede do tanque 2.



Fonte: Autores.

3.2 Sondagem

Os resultados dos ensaios, realizados conforme a norma técnica vigente, indicaram que as condições dos solos são adequadas para o sistema de fundação radier, implantado nos tanques. Não se detectou indícios de recalque e as estruturas não apresentaram manifestação patológica relacionadas à instabilidade do solo. Apesar disso, recomendou-se o monitoramento contínuo para garantir a segurança e a durabilidade das instalações a longo prazo.

3.2.1 Tanque 1

O perfil do solo revelou camadas rijas até 5,90 m de profundidade, garantindo boa capacidade de suporte para as cargas aplicadas. Entre 5,90 m e 6,75 m foi identificada uma camada de silte arenoso pouco compacta, com N-SPT = 6, caracterizando uma zona de menor resistência. Entre 6,75 m e 10,45 m, foi identificada camadas de areia siltosa, medianamente compacta, com N-SPT entre = 8 e 16, caracterizando uma zona de resistência mediana. Todavia, a estabilidade atual indica que essas camadas não estão sendo sobrecarregadas, principalmente devido à ausência de água até a profundidade investigada.

3.2.2 Tanque 2

O perfil do solo revelou camadas médias entre 0,80 e 4,60 m de profundidade, com argila, medianamente compacta, com N-SPT entre = 8 e 10, caracterizando uma zona de resistência mediana. Entre 4,60 m e 6,80 m foi identificada uma camada de argila siltosa rija, garantindo boa capacidade de suporte para as cargas aplicadas. A partir de 6,80 m e até 10,45 m de profundidade, foi identificada uma areia siltosa, medianamente compacta. Todavia, a estabilidade atual indica que essas camadas não estão sendo sobrecarregadas, principalmente devido à ausência de água até a profundidade investigada.

3.3 Resistência à Compressão

Os ensaios realizados permitiram avaliar a resistência à compressão do concreto nos principais elementos estruturais dos tanques. Ressalta-se que o número de extrações foi limitado, visando preservar a integridade da estrutura existente.

Os resultados obtidos são considerados adequados, uma vez que os valores de resistência à compressão se apresentam compatíveis ou superiores ao fck de projeto, atendendo aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023.

3.3.1 Tanque 1

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova do Tanque 01, apresentados na Tabela 2, apresentam variação nos valores, incluindo 20,24 MPa no CP-06 (parcialmente influenciado pela camada de argamassa). A análise estrutural global confirmou a capacidade do concreto remanescente em suportar as cargas atuantes e garantir a estabilidade do tanque sem a necessidade de reforço estrutural.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de resistência à compressão.

Nº DO CP	LOCAL DA EXTRAÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO
CP04	PISO DA LAJE DE FUNDO	43,80 Mpa
CP05	PAREDE	26,84 Mpa
CP06	VIGA SUPERIOR	20,24 Mpa

Fonte: Autores.

3.3.2 Tanque 2

Os valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova do Tanque Filtro 06, sumarizados na Tabela 3 variaram entre 30,72 MPa e 39,32 MPa. Estão em alinhamento ou superam a resistência de projeto de 30 MPa, confirmando a adequação do concreto para a integridade estrutural.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de resistência à compressão.

Nº DO CP	LOCAL DA EXTRAÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO
CP01	PAREDE	30,72 Mpa
CP02	PISO DA LAJE DE FUNDO	31,45 Mpa
CP03	VIGA SUPERIOR	39,32 Mpa

Fonte: Autores.

3.4 Frente de Carbonatação

Os resultados indicam que as amostras apresentaram um pH adequado para o concreto, confirmando a sua boa qualidade, conforme o CP 04 na Figura 6. Além disso, não foi detectada carbonatação no concreto do tanque, evidenciando que a estrutura não apresenta sinais de deterioração associada a esse fenômeno químico.

Figura 7 – Resultado do ensaio de frente de carbonatação no CP 04.



Fonte: Autores.

3.5 Ataque por Cloretos

O ensaio colorimétrico em ambos os tanques, utilizando a solução de nitrato de prata (Figura 7), confirmou a ausência de íons cloreto livres no concreto. Este resultado é fundamental, pois elimina o risco de corrosão especificamente induzida pela presença desses íons nas amostras avaliadas.

Figura 8 – Resultado do ensaio de ataque por cloretos no tanque 01.



Fonte: Autores.

3.6 Avaliação das Armaduras

A avaliação das armaduras, realizada por meio da abertura de janelas de inspeção, indicou que o posicionamento e o cobrimento das barras se encontram, de modo geral, compatíveis com o esperado para os elementos estruturais analisados.

Os ensaios de pacometria confirmaram a repetibilidade dessas condições nos demais elementos avaliados, não sendo identificadas variações significativas que indiquem inconsistências construtivas relevantes.

3.7 Análise Estrutural

A modelagem estrutural foi desenvolvida a partir dos dados levantados em campo e processada no software TQS, permitindo a obtenção dos esforços solicitantes, verificação das deformações e dimensionamento das armaduras conforme os estados limites previstos na ABNT NBR 6118:2023.

3.7.1 Tanque 1

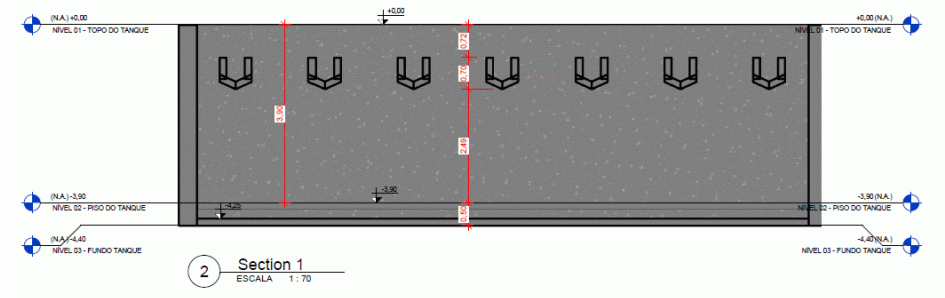
Os parâmetros de projeto incluíram um FCK de 40 MPa para o concreto e um Módulo de Elasticidade (Ec) de 35.417,51 MPa. As dimensões internas analisadas foram: paredes de 430 cm de largura (com espessura de 30 cm) e 1320 cm de comprimento (com espessura de 20 cm), laje de fundo com 25 cm de espessura e uma altura total da estrutura de 390 cm.

As cargas consideradas abrangeram cargas permanentes e variáveis, totalizando 1,900 tf/m² (englobando material filtrante, equipamentos e concreto para instalação). Além disso, foram incluídos esforços hidrostáticos (peso d'água de 3,20 tf/m² e empuxo d'água de 3,20 tf/m²) e geotécnicos (empuxo do solo de 3,80 tf/m²). Os dados geotécnicos utilizados foram uma resistência do solo de 20,0 tf/m² (a partir de 5 m de profundidade) e um Coeficiente de Reação Vertical (CRV) de 4.000 tf/m³, obtido pela correlação de Morrison (1993).

Os resultados da análise indicaram que as deformações estimadas para a estrutura se encontram dentro dos limites admissíveis pela NBR 6118, sendo consideradas não significativas para a função estrutural e operacional do tanque. A verificação da resistência dos materiais confirmou a

adequação do concreto e das armaduras. As áreas de aço mínima necessária calculadas para os elementos variaram de 3,75 cm²/m a 7,10 cm²/m. Esses valores demonstram que a estrutura possui capacidade resistente para as solicitações impostas.

Figura 9 - Corte do Tanque Filtro 15 (ETA 01)



Fonte: Autores.

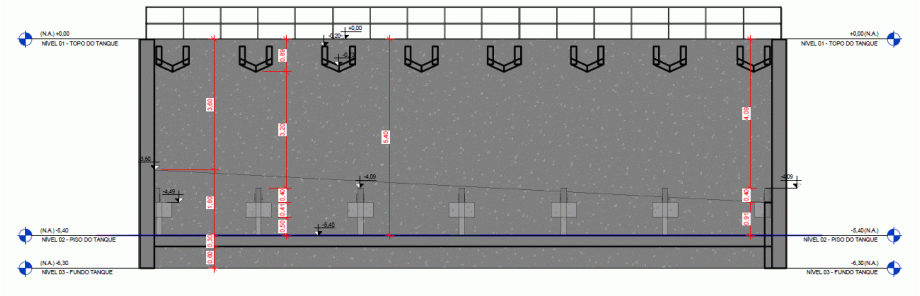
3.7.2 Tanque 2

A verificação da capacidade estrutural do Tanque Filtro 06 foi realizada através de um Memorial Descritivo de Cálculo detalhado, considerando os parâmetros do projeto original e as condições atuais da estrutura. O concreto foi caracterizado com um FCK de 30 MPa e um Módulo de Elasticidade (Ec) de 30.672,46 MPa. As dimensões internas analisadas foram: paredes de 600 cm de largura (com espessura de 40 cm) e 1700 cm de comprimento (com espessura de 20 cm), laje de fundo com 30 cm de espessura e uma altura total de 540 cm.

As cargas permanentes e variáveis consideradas no dimensionamento estrutural totalizaram 7,000 tf/m² (incluindo material filtrante, base existente, equipamentos e concreto para instalação). Foram igualmente avaliados os esforços hidrostáticos (peso d'água de 4,50 tf/m² e empuxo d'água de 4,50 tf/m²) e geotécnicos (empuxo do solo de 5,17 tf/m²). Os dados geotécnicos empregados foram uma resistência do solo de 20,0 tf/m² (a partir de 5 m de profundidade) e um Coeficiente de Reação Vertical (CRV) de 4.000 tf/m³, conforme a correlação de Morrison (1993).

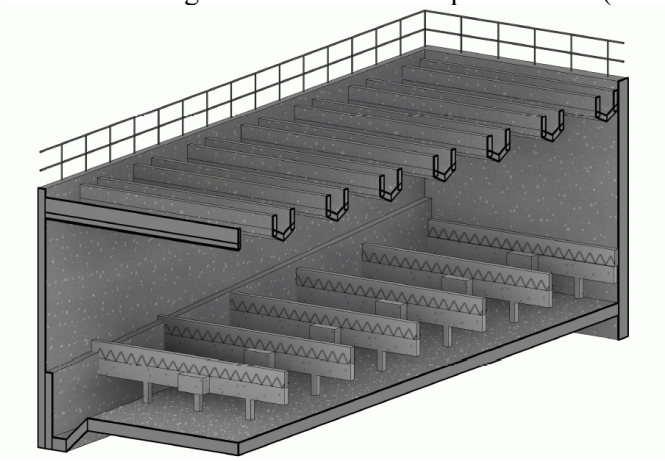
A análise confirmou que as deformações estimadas para a estrutura se encontram dentro dos limites admissíveis pela NBR 6118, indicando que a capacidade estrutural do tanque é adequada para as solicitações previstas. As áreas de aço mínima necessária calculadas para os elementos variaram de 4,87 cm²/m a 22,88 cm²/m, confirmando a adequação do dimensionamento em relação às ações.

Figura 10 - Corte do Tanque Filtro 06 (ETA 02)



Fonte: Autores.

Figura 11 – Modelagem estrutural do Tanque Filtro 06 (ETA 02)



Fonte: Autores.

4 DISCUSSÃO

Os resultados das análises revelam que, apesar das idades distintas (30 anos para o Filtro 15 e 22 anos para o Filtro 06), ambos os tanques apresentam uma condição estrutural, em termos de resistência à compressão do concreto e estabilidade geotécnica, com deformações dentro dos limites aceitáveis pela NBR 6118. Os resultados das análises demonstram que ambos os tanques apresentam desempenho estrutural adequado, considerando que os valores de resistência à compressão do concreto atendem aos parâmetros de projeto estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023.

A ausência de carbonatação e de cloretos livres no concreto em ambos os tanques é um achado positivo, indicando que os principais mecanismos de deterioração química não estão ativos ou não atingiram níveis críticos para iniciar a corrosão das armaduras nessas amostras. Este fato sugere que a durabilidade do concreto, em relação a esses agentes, foi mantida ao longo dos anos.

Contudo, as manifestações patológicas observadas nas inspeções visuais são mais acentuadas no Tanque Filtro 06 (ETA 02) em comparação com o Tanque Filtro 15 (ETA 01), apesar de sua menor idade. Esta diferença pode ser diretamente atribuída à presença de uma camada de proteção mecânica em argamassa no Tanque Filtro 15, que o protegeu do desgaste físico. Em contrapartida, o Tanque Filtro 06 carece dessa camada, expondo diretamente o concreto aos efeitos abrasivos da movimentação de partículas sólidas (areia e brita) e líquidos no processo de filtração. Este desgaste físico é o fator predominante para a desagregação do concreto e a exposição das armaduras, culminando na corrosão observada especificamente na ETA 02.

A corrosão das armaduras, embora limitada nas amostras testadas para cloretos e carbonatação, foi visualmente identificada no Tanque Filtro 06, agravada pela falta de proteção eficiente. Este cenário reitera a necessidade de proteção mecânica e sistemas de impermeabilização robustos em ambientes operacionais agressivos.

A consideração da "Lei de Sitter", que correlaciona a postergação das intervenções com o aumento exponencial dos custos de recuperação, reforça a urgência das ações propostas. A identificação de pontos onde a vida útil de projeto pode já ter sido superada, manifestada por deformações localizadas ou perda de aderência, sublinha a relevância da intervenção imediata para evitar custos significativamente maiores no futuro.

Embora os ensaios não tenham indicado ataque químico por cloretos, a ausência de dados sobre a composição química das águas tratadas e a possibilidade de ataque biológico (por bactérias oxidantes de enxofre ou sulfetos, que podem formar ácido sulfúrico e acelerar a corrosão) devem ser consideradas em estudos futuros, especialmente em estruturas com operação contínua. Diante dessas constatações, são propostas as seguintes ações:

- Projeto Estrutural de Recuperação: É imperativa a elaboração de projetos específicos para a reparação das áreas desagregadas e degradadas, correção das fissuras e pontos de vazamento, e tratamento das manifestações patológicas nas vigas, paredes e demais elementos estruturais de ambos os tanques.
- Novo Sistema de Impermeabilização: Implementação de um sistema de impermeabilização de alta performance e durabilidade. Para o Tanque Filtro 06, é crucial a inclusão de uma camada de proteção mecânica robusta para mitigar o desgaste por abrasão das partículas sólidas em suspensão, protegendo as superfícies de concreto.
- Ensaios Complementares em Laboratório Especializado: Recomenda-se o envio de amostras de concreto para análises laboratoriais aprofundadas de cloretos e sulfatos, além de investigação sobre a composição química da água e potencial de ataque biológico, a fim de descartar definitivamente qualquer possibilidade de ataque químico ou microbiológico e embasar estratégias de proteção mais eficazes.
- Monitoramento Contínuo: A implementação de um programa de monitoramento periódico das estruturas é fundamental para a detecção precoce de novas alterações ou manifestações patológicas, permitindo intervenções preventivas e corretivas eficientes e alinhadas aos preceitos da "Lei de Sitter".

A aplicação integrada dessas medidas é crucial para restaurar plenamente a funcionalidade, estender a vida útil dos tanques, consolidando a infraestrutura de tratamento de água a longo prazo

5 CONCLUSÃO

A avaliação técnica dos tanques permitiu inferir as seguintes conclusões e recomendações:

- Ambos os tanques demonstraram capacidade estrutural intrínseca adequada, com resistência à compressão do concreto compatível com os valores de projeto e estabilidade geotécnica verificada, atendendo aos critérios de segurança e desempenho estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023, não sendo necessária a adoção de medidas de reforço estrutural para a nova utilização proposta
- Os ensaios de carbonatação e de cloretos livres nas amostras de concreto analisadas resultaram negativos, sugerindo que os mecanismos primários de deterioração química não são os agentes preponderantes para a degradação observada.
- As manifestações patológicas identificadas, tais como desagregação do concreto, manchamentos, fissuras e pontos de vazamento, são mais severas no Tanque Filtro 06. A presença de uma camada de proteção mecânica no Tanque Filtro 15 foi fundamental para mitigar o desgaste físico por abrasão, justificando sua melhor conservação. A ausência dessa proteção no Tanque Filtro 06 resultou em maior exposição e corrosão de armaduras, apesar de sua menor idade.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 201.2R-16: Guide to durable concrete.** Farmington Hills: ACI, 2016.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 210R-93 (Reapproved 2008): Erosion of concrete in hydraulic structures.** Farmington Hills: ACI, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655:2015 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484:2020 – Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7680-1:2015 – Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015.

CASCUDO, O. **Carbonatação em estruturas de concreto armado**. São Paulo: Pini, 1997.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** São Paulo: EPUSP, 1993.

KIM, D. et al. **Colorimetric detection of chloride ions in concrete**. Key Engineering Materials, v. 579, p. 576-579, 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MORRISON, L. **Foundation Design and Construction**. 6. ed. New York: Wiley, 1993.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PERDRIX, J. **A durabilidade do concreto.** 2. ed. Lisboa: LNEC, 1992.

POSSAN, E. **Carbonatação em concretos de cimento Portland com adições minerais.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RILEM TC056 CPC 18. **Measurement of hardened concrete carbonation depth**. 1988.

TOMAZELI, A. P. **Avaliação da carbonatação em estruturas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete.** Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.

CAPÍTULO 10 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/r6mqvz41
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/de4kt871

DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO SUBTERRÂNEA EXPOSTA A FERTILIZANTES E AGROTÓXICOS: ESTUDO DE CASO EM TANGARÁ DA SERRA - MT

Renata Rossi Carvalho de Oliveira[1]*; Yasmin Jorge Rodrigues[2]; João Victor de Morais Pereira[3]; Aguida Gomes de Abreu[4] e Danielle Evangelista Vitalino Cardoso[5]
*Autor de contato: renata.rossi@unemat.br

[1, 2, 3] Acadêmicos, Curso de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Tangará da Serra/MT, Brasil
[4,5] Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas, Engenharias e da Saúde - FACABES, Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Tangará da Serra/MT, Brasil

RESUMO

Este artigo analisa a degradação de uma estrutura subterrânea de concreto armado da Universidade do Estado de Mato Grosso, em Tangará da Serra – MT, exposta a fertilizantes e agrotóxicos. O estudo foi realizado por meio de observações visuais, resultados de ensaios de potencial de corrosão, interpretados conforme a ASTM C876, e ensaios colorimétricos com fenolftaleína para verificar a carbonatação do concreto. Os resultados do ensaio eletroquímico indicaram valores médios de potencial de corrosão de -480 mV nas vigas e -532 mV nos pilares, caracterizando uma alta probabilidade de corrosão ativa das armaduras. O ensaio de carbonatação indicou a diminuição da alcalinidade do concreto, o que favoreceu a despassivação. Conclui-se que a umidade, associada à presença de agrotóxicos e/ou fertilizantes acelerou a degradação e reduziu a vida útil da estrutura, reforçando a necessidade da adoção de medidas preventivas quando da execução de estruturas de concreto em ambientes rurais.
Palavras-chave: agrotóxico; potencial de corrosão; edificação subterrânea, carbonatação.

ABSTRACT

This study analyzes the degradation of an underground reinforced concrete structure at the Universidade do Estado de Mato Grosso, in Tangará da Serra, MT, Brazil, exposed to fertilizers and pesticides. The investigation was conducted through visual inspections, corrosion potential measurements interpreted in accordance with ASTM C876, and colorimetric tests using phenolphthalein to assess concrete carbonation. The electrochemical test results indicated average corrosion potential values of −480 mV in the beams and −532 mV in the columns, characterizing a high probability of active reinforcement corrosion. The carbonation test revealed a reduction in the alkalinity of the concrete, promoting reinforcement depassivation. It was concluded that moisture, combined with the presence of pesticides and/or fertilizers, accelerated the degradation process and reduced the service life of the structure. The findings highlight the importance of adopting preventive measures during the construction of concrete structures in rural environments.
Keywords: pesticides; corrosion potential; underground structure; carbonation.

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado baseia sua longevidade em um sistema de proteção dupla: a barreira física, composta pelo cobrimento, e a barreira química, originada pela alta alcalinidade da pasta de cimento hidratada. Segundo Farias e Silva (2018), essa alcalinidade promove a formação de uma camada passivadora de óxidos no aço, que o mantém imune à corrosão.

A durabilidade das estruturas de concreto armado tem sido um dos temas mais discutidos na engenharia civil contemporânea, uma vez que a vida útil de projeto (VUP) é frequentemente reduzida por manifestações patológicas precoces. No Brasil, a norma NBR 6118 (ABNT, 2023) estabelece requisitos quanto à classe do concreto, relação água cimento máxima, consumo mínimo de cimento e cobrimento mínimo da armadura, correlacionando-os à Classe de Agressividade Ambiental (CAA). A Secretaria de Assuntos Estratégicos do Brasil (2020) relatou que o país ocupa o quarto lugar no consumo mundial de fertilizantes (atrás dos Estados Unidos, Índia e China). Conforme Martins *et al.* (2025), estruturas situadas em ambientes rurais como os depósitos de fertilizantes e agrotóxicos são vulneráveis à ação destes agentes, estando expostos, segundo a norma, à classe de agressividade IV, muito forte, que corresponde a um elevado risco de deterioração da estrutura.

A estrutura objeto deste estudo de caso está inserida em um ambiente agrícola, e além de exposta aos agentes nocivos, encontra-se enterrada. Trata-se de um lisímetro de pesagem, equipamento no qual são desenvolvidas pesquisas com culturas em diferentes condições de exposição. Assim, além da presença de agentes nocivos, a existência de umidade constante no solo atua como um veículo facilitador para a entrada de agentes deletérios na estrutura, comprometendo a proteção natural proporcionada pelo concreto à armadura.

No contexto específico deste estudo de caso em Tangará da Serra - MT, a estrutura localizada no campo experimental do curso de Agronomia da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) é submetida a um cenário de agressividade severa devido à infiltração de defensivos agrícolas e fertilizantes químicos, associado à presença de umidade. Conforme destacado por Peres *et al*. (2021), as manifestações patológicas em estruturas raramente decorrem de uma causa única, sendo geralmente o resultado da combinação de falhas de execução, cobrimentos insuficientes e um ambiente de exposição mais severo do que o previsto inicialmente em fase de projeto.

Nesse sentido, o diagnóstico das manifestações em estruturas subterrâneas exige uma avaliação que vai além da inspeção visual. A interação entre a matriz cimentícia porosa e os compostos químicos do solo agrícola pode gerar reações de degradação da pasta e a consequente despassivação das armaduras. Logo, este trabalho tem como principal objetivo analisar como os agentes agressivos disponíveis no ambiente aceleram os processos eletroquímicos de corrosão em uma infraestrutura crítica de pesquisa universitária.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A compreensão dos mecanismos de degradação do concreto armado exige o estudo aprofundado do fenômeno da corrosão, que é, essencialmente, um processo eletroquímico de oxirredução. Segundo Rodrigues *et al*. (2021), para que a corrosão se instale e se mantenha, é necessária a coexistência de um ânodo, um cátodo, um caminho elétrico (armadura) e um eletrólito (solução dos poros do concreto). Em estruturas subterrâneas, como é o caso do objeto de estudo, o solo saturado garante a presença constante de umidade, o que reduz a resistividade elétrica do concreto e facilita a formação de pilhas eletroquímicas.

Uma das principais causas para o início da corrosão é a carbonatação. Este processo ocorre quando o dióxido de carbono (CO_2) difunde-se pelos poros do concreto e reage com o hidróxido de cálcio, reduzindo o pH da pasta de valores próximos a 13 para cerca de 9. Rodrigues *et al*. (2021) ressalta que essa queda de alcalinidade destrói a camada passivadora do aço, dando início ao período de propagação da corrosão. Em áreas agrícolas, esse efeito pode ser agravado pela presença de ácidos orgânicos e compostos químicos que atacam os hidratos do cimento, aumentando a permeabilidade da matriz (Martins *et al.*, 2025; Maraveas, 2020).

A espessura e a qualidade do cobrimento são os fatores determinantes para retardar o avanço desses agentes. Conforme demonstrado por Rocha *et al.* (2014) e Medeiros *et al*. (2017), a relação entre o cobrimento real e a frente de agressão define a probabilidade de início da corrosão. Quando o cobrimento é falho ou poroso, o tempo de iniciação, que se refere à fase em que os agentes agressivos caminham em direção à armadura, é drasticamente reduzido, levando a estrutura prematuramente para a fase de propagação, onde ocorre a perda de seção do aço e o surgimento de fissuras.

Por fim, deve-se considerar que a corrosão em ambientes rurais é influenciada pela presença de íons que podem acelerar a cinética das reações anódicas. Soares, Vasconcelos e Nascimento (2015) explicam que o meio ambiente atua como um catalisador se for rico em agentes que promovam a despassivação. No caso de estruturas em contato com defensivos agrícolas, a sinergia entre o ataque químico superficial e a carbonatação cria um cenário de degradação complexo, exigindo métodos de diagnóstico como o potencial de corrosão e a colorimetria por fenolftaleína para a correta avaliação do dano estrutural (Gobbi, 2021).

3. METODOLOGIA

A estratégia investigativa deste trabalho fundamentou-se na engenharia diagnóstica, combinando a pesquisa bibliográfica em normas técnicas (NBR 6118), literatura consolidada (Helene, 1993; Brito, 1997) e estudos recentes (Martins *et al.*, 2025; Maraveas, 2020), seguidos de uma inspeção visual efetuadas na edificação subterrânea e ensaios realizados *in loco*.

3.1 Caracterização da unidade experimental (lisímetro)

O objeto de estudo consiste em uma edificação subterrânea de caráter experimental, denominada lisímetro, concebida para abrigar sistemas de monitoramento da variação de umidade do solo. A estrutura possui um pé-direito de 2,0 m e uma área projetada de aproximadamente 25 m² (5,0 m x 5,0 m), situada no campus da UNEMAT em Tangará da Serra - MT. Sua execução e início de operação datam do período entre 2010 e 2014, o que permite avaliar o desempenho do material após cerca de uma década de exposição severa. As imagens da Figura 1 são registros fotográficos da edificação realizados durante seu período de construção:

Figura 1 – Lisímetro em fase de construção, vista do nível do terreno (a) e vista interna (b)



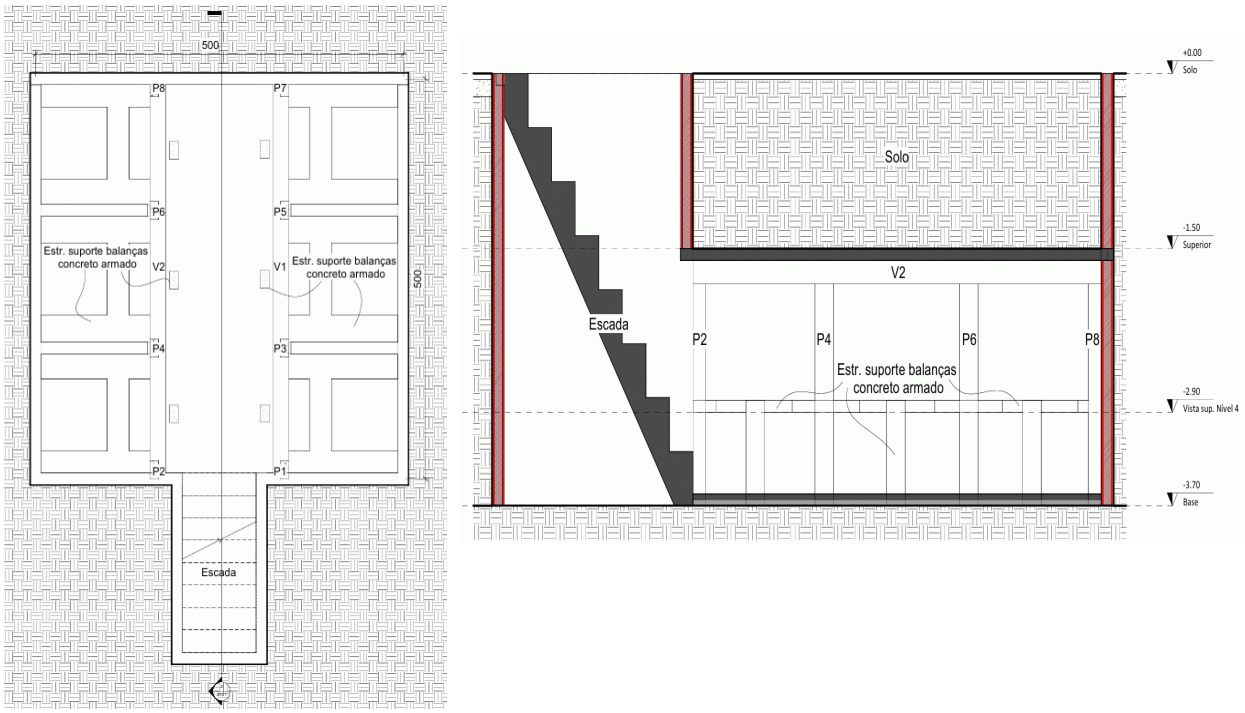
Fonte: os autores.

3.2 Ensaios realizados e coleta de dados

A coleta de dados foi estruturada em duas fases distintas, visando o levantamento da sintomatologia e a realização de ensaios para avaliação da estrutura. As inspeções iniciais ocorreram nos dias 14 e 22 de outubro de 2025, focando na anamnese da estrutura e na identificação de sinais evidentes de degradação, como manchas, fissuras e destacamento do concreto. Conforme Peres *et al*. (2021), o diagnóstico preciso depende dessa leitura preliminar das causas para evitar intervenções ineficazes. Assim, por meio dessas inspeções e registro de informações, foi possível reproduzir a planta e demarcar os elementos estruturais (pilares e vigas) que seriam analisados nesse espaço experimental. A disposição dos elementos estruturais é apresentada na Figura 2.

Em uma segunda fase, realizada em 25 de fevereiro de 2026, a investigação foi aprofundada com a execução do ensaio de potencial de corrosão. Este procedimento eletroquímico permite mapear a estrutura e determinar a probabilidade de corrosão ativa nas armaduras, mesmo em regiões sem desplacamento visível. A realização das leituras seguiu os preceitos de Helene (1993) e Rocha *et al.* (2014), e critérios estabelecidos na ASTM C 876, correlacionando os níveis de potencial medidos com a probabilidade de corrosão da armadura da estrutura.

Figura 2 – Planta da edificação subterrânea e corte, com vista das vigas, pilares e escada de acesso.



Fonte: os autores.

Nesta data, procedeu-se ao ensaio colorimétrico para determinar a espessura de concreto carbonatada. Este ensaio é fundamental para determinar se a reserva alcalina do concreto foi consumida pelo dióxido de carbono ou por ataques químicos externos, despassivando o aço. Segundo Brito (1997) e Couto (2017), a profundidade da frente carbonatada em relação ao cobrimento real é o indicador primário do estágio de vida útil em que a estrutura se encontra.

3.2.1 Ensaio de Potencial de Corrosão

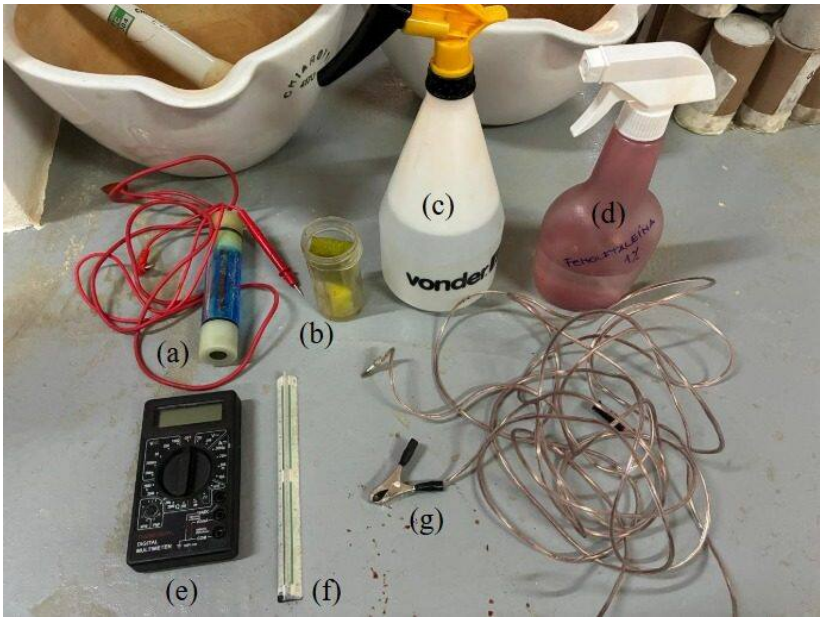
Para avaliar o estado eletroquímico das armaduras foi utilizada a técnica de Medição do Potencial de Corrosão, empregando-se um eletrodo de referência de Cobre/Sulfato de Cobre ($Cu/CuSO_4$). Esse ensaio é considerado um método não destrutivo e permite determinar a probabilidade de ocorrência de corrosão ativa na estrutura.

Neste trabalho, a interpretação dos resultados seguiu os critérios da norma ASTM C876, conforme discutido por Helene (1993) e Rocha *et al*. (2014). Foram considerados os seguintes critérios de análise:

- Potenciais superiores a -200 mV: indicam baixa probabilidade de corrosão (inferior a 10%);
- Potenciais entre -200 mV e -350 mV: zona de incerteza ou corrosão incipiente;
- Potenciais mais negativos que -350 mV: indicam alta probabilidade de corrosão ativa (superior a 90%).

Os itens utilizados no ensaio para a leitura dos potenciais de corrosão foram o multímetro, cabos e conexões, solução condutora com detergente líquido, esponja e eletrodo de $Cu/CuSO_4$. A Figura 3 mostra os equipamentos e materiais utilizados na realização dos experimentos.

Figura 3 – Materiais utilizados nos ensaios para determinação do potencial de corrosão e espessura da camada carbonata: (a) eletrodos de $Cu/CuSO_4$; (b) esponja; (c) solução de água e detergente; (d) solução alcoólica de fenolftaleína a 1%; (e) multímetro; (f) escalímetro; (g) cabo com conectores com 5 metros de extensão



Fonte: os autores.

Um esquema de montagem do ensaio para leitura do potencial é ilustrado na Figura 4 (a), e na Figura 4 (b) a execução do ensaio na viga 1.

Figura 4 – Execução do ensaio de potencial de corrosão: (a) Esquema de montagem do ensaio para leitura do potencial de corrosão; (b) Leitura do potencial de corrosão na viga 1



Fonte: os autores.

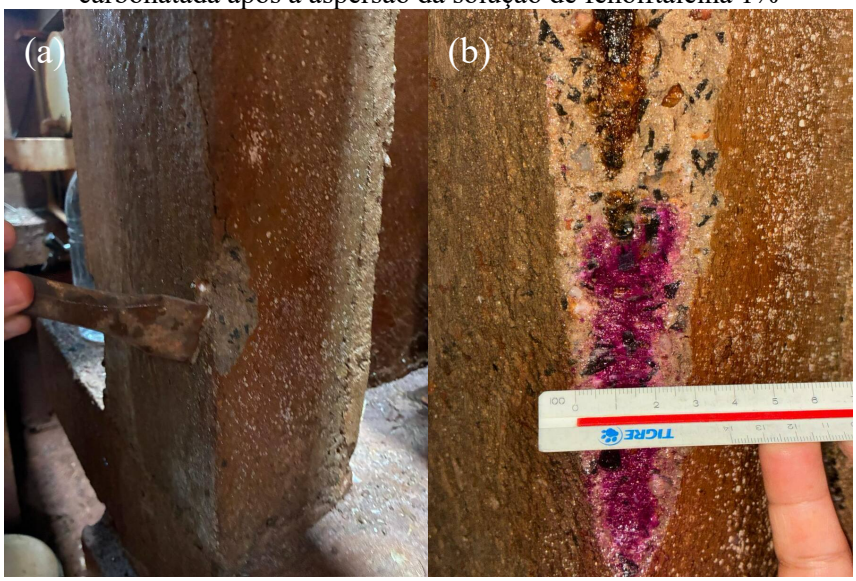
Considerando a localização subterrânea do lisímetro, a interpretação técnica foi criteriosa, pois o elevado teor de umidade e a presença de íons provenientes de defensivos agrícolas podem reduzir a resistividade elétrica do concreto, facilitando o fluxo de correntes de corrosão. Conforme destaca a literatura especializada, "a presença de umidade e oxigênio é fundamental para a manutenção das

reações anódicas e catódicas" (Soares; Vasconcelos; Nascimento, 2015, p. 5), sendo este um fator crítico em estruturas em contato direto com o solo saturado.

3.2.2 Ensaio de carbonatação

A determinação da profundidade de carbonatação foi realizada por meio do método colorimétrico, utilizando a aspersão de uma solução de fenolftaleína (1% em álcool etílico) sobre o corpo de prova recém-fraturado, conforme o método CPC18 da RILEM, registrado na Figura 5:

Figura 5 – Execução do ensaio de carbonatação: (a) Apicoamento do pilar 3; (b) leitura de profundidade carbonatada após a aspersão da solução de fenolftaleína 1%



Fonte: os autores.

Este ensaio visa identificar a perda de alcalinidade do concreto, fator preponderante para a despassivação do aço. A fenolftaleína é um indicador de pH que altera sua coloração conforme o meio em que se encontra, torna-se carmim (rosa-fúcsia) em regiões com pH superior a 9,5, e permanece incolor em pH menor que 8,3 (região carbonatada), considerando-se que o pH do concreto normalmente varia entre 12,5 e 14 (DIN EN 14630, 2007; Brito, 1997; Cadore, Viecili, Arndt, 2025).

4. RESULTADOS E ANÁLISE

A localização da estrutura em área rural impõe uma condição de exposição crítica. Como destacam Maraveas (2020) e Gobbi (2021), o meio ambiente exerce influência direta na cinética corrosiva, sendo que a presença constante de culturas agrícolas sobre a laje e em seu entorno imediato submete o concreto ao contato com fertilizantes e defensivos químicos. Estes agentes, aliados à umidade intrínseca do solo, configuram uma Classe de Agressividade Ambiental (CAA) elevada, exigindo do concreto uma impermeabilidade que a estrutura atual parece não sustentar, o que acaba sendo evidenciado nas análises visuais feitas na estrutura. Com isso, é possível verificar o grau de degradação da estrutura por meio dos registros fotográficos mais recentes dela, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Edificação subterrânea experimental atualmente, com manifestações na viga 1 e pilar P5 (registros feitos entre os anos de 2025 e 2026)



Fonte: os autores.

Nas inspeções visuais foram constatadas a ocorrência de manchas e desplacamentos que, segundo Souza *et al*. (2020), indicam que o volume dos produtos de corrosão já superou a resistência à tração do cobrimento de concreto. A falha no cobrimento real, muitas vezes inferior ao especificado em projeto, permitiu o avanço acelerado da frente de carbonatação (Rocha *et al*., 2014) e o acesso dos demais agentes agressivos.

Para além disso, após a realização do ensaio de potencial de corrosão, observou-se que os valores dos potenciais variaram entre - 240 mV e - 660 mV, constando uma média aritmética -479,76 mV nas vigas e entre -350 mV e -640 mV, e média aritmética de -531,53 mV nos pilares. Na Tabela 1 são apresentados a amplitude dos valores de potencial lidos e a conclusão feita a partir das médias obtidas, conforme critérios da estabelecidos na ASTM C 876.

Tabela 1 – Resultados mínimos e máximos do ensaio de potencial de corrosão e análise final dos valores numéricos médios para vigas e pilares

Resultados dos Potencial de corrosão (mín. e máx.)	Média aritmética do potencial de corrosão	Análise dos resultados
Vigas		
-240mV -660mV	- 479,76 mV	Mais negativos que -350 mV, indicam uma alta probabilidade de corrosão ativa superior a 90%, segundo os critérios da ASTM C 876
Pilares		
-350mV -640mV	-531,53 mV	

Fonte: os autores.

Por conta da alta probabilidade de corrosão, obtida após o ensaio (Tabela 1) e constatado visualmente (Figura 6), infere-se que a estrutura está degradada em demasia devido à ação agressiva do meio, posto que a sinergia entre a acidez proveniente de defensivos agrícolas e a

umidade do solo pode ter levado a uma redução da resistividade elétrica do concreto, catalisando as reações de oxirredução nas barras de aço (Soares; Vasconcelos; Nascimento, 2015).

Do mesmo modo, conforme a ABNT NBR 6118:2023, a estrutura em questão se enquadra na zona de classe de agressividade IV, representada pelo ramo industrial, se encaixando no quesito de elementos em contato com solo contaminado, apresentando agressividade “muito forte” e risco de deterioração da estrutura “elevado”. Segundo Couto (2017), a carbonatação ocorre devido ao processo de difusão do CO_2, e, esse processo, é muito lento e diretamente relacionado com as condições ambientais.

A profundidade da frente de carbonatação observada é baixa para a região avaliada, aproximadamente, 1 cm. No entanto, se considerar o cobrimento insuficiente em relação a classe de agressividade ambiental, que requer cobrimento mínimo de 5 cm, verifica-se que as armaduras estão mais suscetíveis ao avanço da carbonatação.

Dessa forma, averigua-se que a estrutura apresenta um comprometimento significativo, tendo em vista o nível de deterioração observado tanto no concreto quanto nas barras. Cruzando-se estes dados, conclui-se que o processo corrosivo também pode ter sido desencadeado pela perda da reserva alcalina do concreto. A Figura 5 ilustra a resposta cromática do concreto fraturado após a aspersão do indicador de fenolftaleína, evidenciando a ausência de coloração carmim na camada de cobrimento.

Embora a estrutura não tenha sido exposta às condições consideradas ideais para a carbonatação, a profundidade de neutralização observada é passível de atenção redobrada. Fica evidente que, a ação combinada entre a porosidade da matriz e a agressividade do ambiente subterrâneo permitiu que a frente de carbonatação ultrapassasse a barreira física do cobrimento, comprometendo a proteção química do aço e expondo a armadura à oxidação.

No caso específico da estrutura subterrânea em estudo, tem-se em conta que a umidade constante do solo e a presença de efluentes com agentes químicos agrícolas podem mascarar e/ou atenuar a difusão gasosa. Ainda, conforme Maraveas (2020), em ambientes agrícolas o ataque por ácidos orgânicos e nitratos pode "mimetizar" o efeito da carbonatação, reduzindo drasticamente o pH da pasta de cimento e expondo as armaduras a um meio eletroliticamente ativo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso realizado na unidade experimental na UNEMAT de Tangará da Serra – MT permite concluir que a interação entre agentes químicos de origem agrícola (defensivos e fertilizantes) e estruturas subterrâneas de concreto armado configura um cenário patológico de elevada complexidade eletroquímica. A agressividade do meio, potencializada pelo manejo agrícola intensivo, desencadeou reações deletérias que comprometeram a segurança estrutural e a vida útil de serviço em um período inferior a 15 anos, evidenciando uma obsolescência precoce frente às previsões da NBR 6118 (ABNT, 2023).

O diagnóstico revelou que o mecanismo de degradação é de natureza multifatorial. A sinergia entre o pH naturalmente ácido do solo latossólico regional e a lixiviação de sais provenientes de fertilizantes, acelerou drasticamente a cinética de despassivação das armaduras e consequente corrosão.

Entende-se que a permeabilidade da matriz cimentícia, agravada pela ausência de ventilação sistêmica e por falhas críticas na estanqueidade (impermeabilização), atuou como o vetor facilitador para o transporte de íons agressivos até o interior do concreto. Conforme preconiza Helene (1993), a falha na barreira física do cobrimento expõe a vulnerabilidade da proteção química, resultando na desintegração progressiva da pasta de cimento.

A aplicação de métodos de diagnóstico físico-químico e eletroquímico revelou-se indispensável para a caracterização do dano. O mapeamento do potencial de corrosão, utilizando eletrodo de referência de $Cu/CuSO_4$, permitiu delimitar as zonas de corrosão ativa. Complementarmente, o ensaio de aspersão de fenolftaleína confirmou a exaustão da reserva alcalina em profundidades superiores ao cobrimento real, validando a hipótese de neutralização da pasta por agentes externos (BRITO, 1997).

Também, este trabalho evidencia a necessidade urgente de ampliar o conhecimento sobre a durabilidade de estruturas em ambientes rurais, visto que a escassez de literatura específica sobre o impacto de agroquímicos na matriz do concreto dificulta a prescrição de medidas preventivas eficazes. Portanto, sugere-se a intensificação de pesquisas experimentais e a difusão científica sobre o tema, visando o desenvolvimento de concretos de alto desempenho e sistemas de proteção superficial resilientes às severas solicitações químicas do ecossistema agrícola.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus de Tangará da Serra, pelo suporte acadêmico e estrutural, bem como a todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-876- Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.** ASTM-C-876-91 (R99).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BRITO, Nelson Emilio Díaz. **Avaliação do grau de corrosão das armaduras em estruturas com concreto carbonatado.** 1997. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1997.

CADORE, Bianca Carlin; VIECILI, Maycon Jonas Consalter; ARNDT, Josué Augusto. Avaliação e diagnóstico de estrutura de concreto armado exposta a ambiente de alta agressividade: estudo de caso de um reator de uma indústria alimentícia. **Congresso Brasileiro de Patologia das Construções (CBPAT)**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 1–13, 2025. DOI: 10.5281/zenodo.12773096. Disponível em: https://anais.cbpat.org.br/cbpat/article/view/33. Acesso em: 15 abr. 2026.

CASSAVARA, Fernanda Torres Gonçalves *et al.* **Carbonatação em estruturas de concreto armado.** In: 2º Congresso Tudo é Ciência, UniFOA, Volta Redonda, 2023.

COUTO, Rafael Aredes. **Avaliação probabilística da vida útil de estruturas de concreto armado sujeitas à carbonatação**. 2017.

FARIAS, Gabriela Cipriano de; SILVA, Daiane dos Santos da. Análise da evolução da profundidade de carbonatação em estruturas de concreto ao longo do tempo. **Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil UNESC,** Criciúma, 2018.

GOBBI, Andressa *et al*. Estudo Comparativo Das Manifestações Patológicas No Concreto Armado Em Ambientes De Alta Agressividade. **Novas Dinâmicas Das Engenharias: Atualidades e Perspectivas: Volume 1**, 2021.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** 1993. 231 f. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1993.

MARAVEAS, Chrysanthos. Durability issues and corrosion of structural materials and systems in farm environment. **Applied Sciences**, v. 10, n. 3, p. 990, 2020.

MARTINS, Monalisa Coelho et al. Reinforced concrete exposed to external ammonium sulfate attack in fertilizer factories: test method focused on reinforcement corrosion, migration coefficient, and microstructural changes. **Journal of Building Engineering**, v. 104, p. 112112, 2025.

MEDEIROS, Marcelo HF *et al.* Potencial de corrosão: influência da umidade, relação água/cimento, teor de cloretos e cobrimento. **Revista IBRACON**, v. 10, p. 864-885, 2017.

PERES, Rebeca Valim *et al*. Patologia em concreto armado: avaliação de corrosão, fissuras e manchas. **RECIEC - Revista Científica de Engenharia Civil UniEVANGÉLICA,** Anápolis, v. 4, n. 2, 2021.

ROCHA, Francielle C. *et al*. Influência da espessura de cobrimento e da contaminação por cloretos nas leituras de potencial de corrosão de armaduras. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil,** Goiânia, v. 8, n. 2, p. 43-53, 2014.

RODRIGUES, Romain *et al*. Reinforced concrete structures: A review of corrosion mechanisms and advances in electrical methods for corrosion monitoring. **Construction and Building Materials**, v. 269, p. 121240, 2021.

Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Estrutura organizacional**. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/secretariageral/pt-br/acesso-a-informacao/transparencia-e-prestacao-de-contas-pr/2021/secretaria-especial-de-assuntos-estrategicos-relatorio-de-gestao/secretaria-especial-de-assuntos-estrategicos-estrutura-organizacional. Acesso em: 10 abr. 2026.

SOARES, Arthur Pimentel Falcão; VASCONCELOS, Lívia Tenório; NASCIMENTO, Felipe Bomfim Cavalcante do. **Corrosão em armaduras de concreto.** Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas, Alagoas, v. 3, n. 1, p. 177-189, 2015.

SOUZA, Gabriel M. de *et al*. **Corrosão de armaduras em uma edificação em concreto armado no município de Pouso Alegre.** TCC (Graduação em Engenharia Civil), Pouso Alegre, 2020.

CAPÍTULO 11 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/wgrf8p47
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/mhnaaq46

AVALIAÇÃO TÉCNICA DO VIADUTO DA RUA VOLUNTÁRIOS DA PÁTRIA: APLICAÇÃO DA NBR 9452 EM INSPEÇÕES DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Luciani Somensi Lorenzi[1]*, Angelica Winter Rabaioli[2]; Lucas Alexandre Reginato[2]; Alexandre Lorenzi[2]
*Autor de contato: luciani.lorenzi@ufrgs.br

[1] Departamento de Engenharia Civil (DECIV), Laboratório de Ensaios e Modelos Experimentais (LEME), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil
[2] Instituto de Desempenho da UFRGS, Laboratório de Ensaios e Modelos Experimentais (LEME), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

As Obras de Arte Especiais (OAEs) são ativos críticos para a mobilidade urbana e sua degradação pode acarretar riscos à segurança e impactos socioeconômicos relevantes. Este trabalho apresenta a inspeção de uma OAE em concreto armado localizada na Rua Voluntários da Pátria, em Porto Alegre/RS, motivada por ressaltos recorrentes nas juntas de dilatação e por indícios de intervenções sucessivas de recapeamento. A metodologia combinou revisão bibliográfica, levantamento documental junto à gestora da obra e inspeção in loco baseada em avaliação visual e tátil, sem recursos especiais de acesso, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 9452:2019. Foram registradas anomalias relacionadas à drenagem deficiente (drenos quebrados e obstruídos), à umidade com eflorescências e biofilme, à fissuração e ao lascamento de concreto, à exposição e à corrosão de armaduras, à obstrução do aparelho de apoio, à deterioração localizada de viga transversina e à obstrução das juntas de dilatação. A classificação resultou em nota 3 (condição regular) no parâmetro estrutural e em nota 2 (condição ruim) nos parâmetros funcional e de durabilidade. Recomenda-se a antecipação de inspeção especial por profissional habilitado, com ensaios complementares e priorização de intervenções de curto prazo voltadas à segurança do usuário e ao controle de agentes de deterioração.
Palavras-chave: OAE; inspeção; viaduto; ABNT NBR 9452; manifestações patológicas; durabilidade.

ABSTRACT

Special Art Works (SAWs) are critical assets for urban mobility, and their deterioration may pose safety risks and significant socioeconomic impacts. This paper reports on the inspection of a reinforced-concrete viaduct on Voluntários da Pátria Street (Porto Alegre, Brazil), prompted by persistent bumps at the expansion joints and repeated asphalt overlays. The methodology combined a literature review, document collection from the managing authority, and an on-site inspection using visual and tactile assessments, without special access equipment, in accordance with the ABNT NBR 9452:2019 guidelines. The main findings include deficient drainage (broken/clogged drains), moisture-related efflorescence and biofilm, cracking and concrete spalling with exposed and corroding reinforcement, a partially obstructed bearing, localized damage in a transverse beam, and clogged expansion joints. The viaduct was rated as 3 (fair condition) for structural performance and 2 (poor condition) for functional and durability performance. An early special inspection by qualified professionals is recommended, including complementary testing and short-term interventions focused on user safety and on controlling deterioration agents.
Keywords: SAW/OAE; inspection; viaduct; NBR 9452; pathological manifestations; durability.

1. INTRODUÇÃO

As Obras de Arte Especiais (OAEs) — como pontes, viadutos, passarelas e túneis — constituem infraestruturas críticas para a mobilidade urbana e logística, viabilizando o deslocamento de pessoas e cargas e, por extensão, o acesso a atividades econômicas e sociais. Em razão do alto custo de implantação e da relevância estratégica, a degradação ou interdição dessas estruturas pode gerar impactos significativos na segurança dos usuários e no desempenho do sistema viário.

No contexto da gestão pública, iniciativas institucionais têm evidenciado fragilidades no gerenciamento de manutenção de OAEs em municípios. Um projeto conduzido em parceria entre o Tribunal de Contas do Estado do Rio Grande do Sul (TCE-RS) e o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (Crea-RS) apontou que a maioria dos municípios avaliados não dispõe de cadastro atualizado, de planos formais de manutenção, de vistorias rotineiras e de responsável técnico designado, além de apresentar baixa contratação de serviços de manutenção nos últimos anos, ainda que parte declare previsão orçamentária para a área. Esses achados reforçam a ideia de que a ausência de diagnóstico sistematizado do estado de conservação tende a comprometer a alocação eficiente de recursos, reduzir a vida útil e elevar os custos de recuperação, aumentando também o risco de falhas estruturais.

A literatura clássica sobre gestão da durabilidade reforça o caráter econômico da manutenção preventiva. Sitter (1983) descreve uma evolução exponencial dos custos ao longo do tempo, indicando que intervenções corretivas tardias podem multiplicar significativamente os dispêndios quando comparadas a ações preventivas incorporadas desde o projeto e mantidas por rotinas de inspeção e conservação. Assim, as inspeções normatizadas desempenham papel central ao fornecer subsídios técnicos para o planejamento e a priorização de intervenções, mantendo a estrutura em patamares aceitáveis da curva de deterioração e favorecendo o alcance da vida útil do projeto.

Em áreas urbanas, falhas em elementos funcionais, como juntas de dilatação, pavimentação, sinalização e drenagem, podem induzir solicitações dinâmicas adicionais no tabuleiro e nos aparelhos de apoio, além de reduzir o conforto e a segurança do usuário. A literatura técnica e os manuais de inspeção destacam que ressaltos, depressões e desníveis associados a recapeamentos sucessivos podem intensificar os impactos e as vibrações na superestrutura (DNIT, 2004).

O presente estudo concentra-se no viaduto localizado na Rua Voluntários da Pátria (Porto Alegre/RS), selecionado em função de dois aspectos principais: (i) a ocorrência de ressaltos persistentes nos encontros do viaduto, que induzem redução da velocidade e desconforto operacional; e (ii) a geometria característica do tabuleiro, com perfil convexo. Observações de campo indicam que, ao longo dos anos, a principal intervenção realizada para mitigar o ressalto tem sido a sobreposição sucessiva de camadas de pavimentação asfáltica. Tal estratégia pode não representar uma solução tecnicamente adequada, podendo, inclusive, mascarar anomalias subjacentes ao desempenho funcional e/ou estrutural da obra.

Neste contexto, o presente estudo concentra-se no Viaduto da Rua Voluntários da Pátria, em Porto Alegre/RS, cuja motivação principal foi a presença de ressaltos persistentes nas regiões de juntas de dilatação e de indícios de intervenções de recapeamento asfáltico. O objetivo é inspecionar a estrutura quanto aos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade, registrando e analisando as anomalias conforme a ABNT NBR 9452:2019, de modo a subsidiar recomendações de manutenção e de aprofundamento investigativo.

Figura 1. Vista lateral leste do viaduto.



Contudo, a inspeção é limitada quanto ao emprego de equipamentos e recursos especiais de acesso, bem como quanto à obtenção de autorizações operacionais específicas, em razão de restrições financeiras e operacionais. Em consequência, definiu-se a realização de inspeção cadastral (em vez de rotineira), após levantamento documental junto à gestora e a constatação da inexistência de registros prévios de inspeções compatíveis com a NBR 9452.

Figura 2. Vista geral do entorno imediato do Viaduto.



2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Evolução e caracterização das obras de arte especiais

Registros históricos indicam o uso de madeira e cordas em pontes primitivas, seguido da consolidação de estruturas em pedra em civilizações antigas. A partir do fim do século XVIII, o ferro fundido passou a ser empregado em sistemas em arco e, no século XX, o concreto tornou-se

o material predominante, inicialmente em arcos e, posteriormente, em soluções em vigas e pórticos e, mais adiante, em concreto protendido, cujo desenvolvimento se intensificou após a Segunda Guerra Mundial.

Em termos estruturais, as OAEs organizam-se, de modo geral, em superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. A superestrutura compreende elementos responsáveis por receber ações permanentes e variáveis e transmiti-las aos apoios (por exemplo, lajes e vigas principais). A mesoestrutura corresponde aos elementos intermediários de transferência de cargas (pilares, vigas-travessa e aparelhos de apoio). A infraestrutura abrange os componentes de fundação que transferem os esforços ao solo (estacas, blocos e sapatas). Além disso, os elementos podem ser classificados conforme sua criticidade: principais (danos podem levar a colapso parcial/total), secundários (ruptura localizada em parte do vão) e complementares (impacto predominantemente funcional/durabilidade, como drenagem, transição, juntas e sinalização).

A durabilidade de OAEs depende do entendimento da vida útil do projeto e das rotinas de manutenção. A ABNT NBR 6118 define a vida útil de projeto como o período no qual as características da estrutura não se alteram de forma relevante (sem intervenções significativas), desde que sejam atendidos os requisitos de uso, manutenção e reparos necessários por danos acidentais. A norma reforça que a estrutura deve conservar segurança, estabilidade e aptidão em serviço ao longo da vida útil, observando que diferentes subsistemas podem apresentar vidas úteis distintas (por exemplo, juntas e aparelhos de apoio).

2.2 Influência do ambiente e classes de agressividade

Além das ações permanentes e variáveis, o projeto e a manutenção de OAEs demandam a consideração de dados de implantação (situação, gabaritos, condições de fundação) e de condicionantes ambientais (cheias e secas, clima local). A literatura enfatiza que parâmetros de exposição e microclima podem ser tão relevantes quanto as propriedades intrínsecas do concreto (porosidade, resistência, relação a/c e tipo de cimento), de modo que o diagnóstico adequado do ambiente é etapa essencial para a concepção e o gerenciamento.

A ABNT NBR 6118 relaciona a agressividade ambiental às ações físicas e químicas que atuam sobre o concreto, independentemente das ações mecânicas e das variações volumétricas consideradas no dimensionamento. Assim, torna-se crucial classificar corretamente o ambiente de exposição. Em síntese, a norma apresenta classes de agressividade ambiental: i (fraca), associada a ambientes rurais/submersos e risco insignificante; ii (moderada), típica de ambientes urbanos (risco pequeno); iii (forte), relacionada a ambientes marinhos/industriais (risco grande); e iv (muito forte), associada a ambientes industriais severos e respingos de maré (risco elevado), com observações sobre microclimas e possibilidades de classe mais branda em condições específicas. Essa classificação é determinante para orientar os requisitos de projeto, a proteção e as estratégias de inspeção e de manutenção.

2.3 Manifestações patológicas recorrentes em OAEs

A análise de Manifestações Patológicas (MP) pode ser organizada por etapas do ciclo de vida. Helene (1992) propõe agrupar as causas em: planejamento, projeto, materiais, execução e uso, destacando que as falhas nas fases iniciais (planejamento/projeto) tendem a ser mais críticas. Souza e Ripper (1998) complementam, afirmando que MP frequentemente decorrem de predisposições estabelecidas ao longo do ciclo de vida, associadas a falhas de projeto, de execução e de materiais

e, de modo recorrente, à falta de manutenção, sendo difícil generalizar percentuais devido à variação de contextos e de bases de dados.

No caso de OAEs, a ABNT NBR 9452 lista anomalias usuais como defeitos construtivos (por exemplo, falhas de concretagem e cobrimento), danos por impacto, deslocamentos, deformações excessivas, fissuras, exposição de armaduras, esmagamentos e deterioração por agentes agressivos, entre outras. Entre as manifestações, a fissuração é central por seu papel tanto como sintoma quanto como via de entrada de agentes agressivos. Dal Molin (1988) distingue fissuras em concreto fresco (assentamento plástico, dessecação superficial e movimentação de formas) e em concreto endurecido (retração por secagem, movimentação térmica, corrosão de armaduras, reações expansivas, sobrecargas, detalhes construtivos e fundações). Em paralelo, mecanismos como a carbonatação reduzem a alcalinidade da pasta de cimento e podem despassivar a armadura, acelerando a corrosão, enquanto a ação dos cloretos também pode romper a camada passivadora (Neville, 1997). Eventos como fogo podem reduzir propriedades mecânicas e induzir spalling, e falhas de execução (segregação, vazios) e processos físico-químicos (lixiviação/eflorescência) comprometem o desempenho e a durabilidade (Mehta e Monteiro, 2014).

Aspectos funcionais do sistema viário também são relevantes para o desempenho global. O DNIT ressalta que defeitos na pista e nas transições (ressaltos, depressões e desníveis em juntas) podem amplificar os efeitos dinâmicos (impactos), aumentar as solicitações e, quando combinados com problemas em aparelhos de apoio, contribuir para deslocamentos indesejados do tabuleiro. Recapeamentos sem orientação técnica podem ainda ocultar elementos importantes (como juntas) e elevar o peso próprio da estrutura. Para as juntas de dilatação, a ABNT NBR 9452 destaca anomalias típicas, como ausência de vedação, falta de estanqueidade, saliência ou depressão com desconforto ou impacto, deterioração dos componentes e acúmulo de detritos, entre outras. Esses mecanismos justificam a necessidade de inspeções periódicas e de registro sistemático das condições observadas.

2.4 OAEs, gestão de manutenção e critérios de inspeção

A ABNT NBR 9452:2019 estabelece diretrizes para a inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto e organiza a gestão da manutenção com base em inspeções periódicas e critérios de classificação. A norma define quatro tipos de inspeção: cadastral, rotineira, especial e extraordinária. A inspeção rotineira possui caráter anual e visa acompanhar a evolução das anomalias; a inspeção especial, tipicamente a cada cinco anos (podendo ser estendida, conforme as condições), requer avaliação pormenorizada e o mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias para diagnóstico e prognóstico da estrutura (ABNT, 2019). A literatura também discute o uso de metodologias de inspeção como instrumento para priorização de intervenções em OAEs, reforçando a necessidade de critérios consistentes e rastreáveis (VERLY, 2015).

2.4.1 Elementos funcionais: juntas, pavimento e efeitos dinâmicos

Complementarmente, documentos do DNIT descrevem defeitos e requisitos de avaliação de OAEs, incluindo a atenção a efeitos dinâmicos decorrentes de defeitos no pavimento e de condições inadequadas dos aparelhos de apoio (DNIT, 2004a). As juntas de dilatação constituem pontos críticos, pois sua obstrução, ausência de perfis de vedação, deterioração dos berços e ocorrência de saliências ou depressões tendem a favorecer infiltrações, concentração de agentes agressivos e desconforto ao usuário (ABNT, 2019).

2.4.2 Durabilidade em OAEs de concreto: umidade, fissuração e corrosão

As manifestações patológicas mais recorrentes em OAEs de concreto incluem fissuração, destacamentos e perdas de cobrimento, eflorescências e biofilmes associados à umidade, além da corrosão de armaduras em decorrência da carbonatação e/ou da presença de agentes agressivos. A drenagem deficiente, caracterizada por drenos entupidos, rompidos ou mal posicionados, contribui para manter a estrutura em condições favoráveis à penetração de água e à aceleração dos mecanismos de deterioração (ABNT, 2019). A compreensão desses mecanismos é fundamental para orientar terapias de manutenção e reparo, bem como para priorizar intervenções com base no risco e no desempenho (HELENE, 1986; HELENE, 1992; SOUZA; RIPPER, 1998).

2.4.3 Carbonatação e modelos de evolução da corrosão

A carbonatação é um dos mecanismos de deterioração mais relevantes em estruturas de concreto em ambiente urbano, pois reduz o pH da matriz cimentícia e pode levar à despassivação do aço. Modelos de iniciação e propagação da corrosão, como os apresentados por Tuutti, permitem compreender a evolução temporal do processo e apoiar decisões de manutenção (TUUTTI, 1982). Para estruturas expostas em ambiente urbano, a previsão de vida útil associada à frente de carbonatação pode ser tratada por meio de abordagens probabilísticas e determinísticas, com parâmetros influenciados pela umidade, pela porosidade e pelas condições de cura (POSSAN, 2010).

Em OAEs, a presença de umidade recorrente decorrente de falhas de drenagem, juntamente com a falta de estanqueidade e os empoçamentos, constitui um fator acelerador da corrosão e da degradação do cobrimento. Por isso, as inspeções devem buscar sinais indiretos, como eflorescências, manchas, biofilmes, fissuração mapeada e destacamentos, bem como registrar a relação entre as anomalias e as trajetórias preferenciais de escoamento.

2.4.5 Biodeterioração e efeitos associados à umidade persistente

A biodeterioração do concreto, embora por vezes negligenciada em avaliações rotineiras, pode se manifestar por meio de biofilmes e de colonização de superfícies em ambientes com umidade persistente e aporte de nutrientes. Estudos experimentais indicam que microrganismos podem contribuir para a alteração local do meio e, em condições específicas, para processos de degradação associados a produtos metabólicos (SHIRAKAWA, 1994). Assim, a identificação de biofilme, em conjunto com a umidade e os depósitos de detritos, reforça a necessidade de intervenção prioritária na drenagem e na limpeza.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia combinou: (i) revisão bibliográfica das manifestações patológicas típicas em OAEs de concreto, conforme categorias do Anexo A da ABNT NBR 9452:2019; (ii) levantamento documental junto à gestora da obra, incluindo plantas estruturais executivas e registros de inspeções anteriores; e (iii) inspeção in loco baseada em avaliação visual e tátil, sem uso de equipamentos ou recursos especiais de acesso, com registros fotográficos e preenchimento de ficha de inspeção em formato semelhante ao modelo normativo (ABNT, 2019).

O conjunto documental disponibilizado incluiu as plantas estruturais do projeto do viaduto (GEIPOT, 1978) e um laudo técnico elaborado em março de 2023. Embora este laudo tenha cadastrado anomalias por inspeção visual, observou-se ausência de atribuição de notas e limitações quanto à objetividade e à aderência ao procedimento normativo (DW ENGENHARIA, 2023).

A inspeção de campo foi realizada em 19/08/2023, com a sequência de levantamento geométrico do tabuleiro e dos elementos de apoio, seguida do exame de anomalias no tabuleiro, nos encontros e nos pilares, e finalizada com a avaliação do pavimento e dos elementos funcionais. Parte das regiões inferiores dos encontros não pôde ser examinada devido a restrições de acesso e à ocupação irregular do entorno imediato.

A classificação da OAE seguiu os parâmetros de desempenho estrutural, funcional e de durabilidade previstos na ABNT NBR 9452:2019. As notas são atribuídas em uma escala discreta, na qual valores inferiores representam condições piores e exigem intervenções mais imediatas. A nota final por parâmetro considera a condição observada e a criticidade das anomalias, orientando a priorização de ações de manutenção e a necessidade de inspeções especiais.

4. RESULTADOS

O viaduto integra o conjunto de obras de implantação do sistema metroviário da Trensurb, inaugurado em 02 de março de 1985 (TRENSURB, 2023). A estrutura recebe tráfego rodoviário e é composta por duas pistas, nos sentidos bairro-centro e centro-bairro. Segundo as plantas executivas, a superestrutura é de concreto armado moldado no local, com tipologia longitudinal contínua e seção transversal com duas vigas (GEIPOT, 1978).

Na mesoestrutura, cada pista conta com 11 pilares (6 sob a viga externa e 5 sob a viga interna) e 13 vãos. Os pilares possuem diâmetro de 0,90 m e alturas variáveis; o vão típico (e o maior vão) é de 18,25 m. Foram identificados aparelhos de apoio de neoprene. A partir de observações em campo, verificou-se ainda a presença de duas vigas transversais em aço em uma das pistas, elementos não detalhados nas plantas consultadas, o que indica provável intervenção posterior e demanda investigação específica. A Tabela 1 ilustra as principais características da OEA estudada.

Tabela 1. Síntese das características principais da OAE, com base na inspeção e nos documentos.

Item	Descrição
Ano de construção	Entre 1980 e 1985 (estimativa conforme registros).
Configuração	Duas pistas paralelas; tabuleiro convexo em perfil.
Vãos e apoios	13 vãos por pista; 11 pilares por pista; vãos típicos, com diâmetro superior a 18,25 m; pilares com diâmetro de 0,90 m e alturas variáveis.
Aparelhos de apoio	Neoprene: obstrução/bloqueio observada no pilar 02 (pista direita) e na região do encontro 01 (pista esquerda).
Juntas de dilatação	2 por pista, abertas; obstruídas por detritos e por recapeamento asfáltico.
Passeio e guarda-corpo	Passeio existente; largura livre medida de 1,605 m; guarda-corpo com trechos danificados e altura de aproximadamente 0,90 m.
Exposição	Classe de agressividade ambiental III (forte), ambiente industrial (ABNT NBR 6118:2023).

O entorno foi enquadrado na classe de agressividade ambiental III (agressividade forte, ambiente industrial), conforme os critérios da ABNT NBR 6118:2023, o que reforça a necessidade de controle rigoroso da umidade e de agentes agressivos para a preservação da durabilidade.

4.1 Principais anomalias observadas

Na superestrutura, observou-se a deposição de fuligem na face inferior da laje e das vigas, em trechos próximos ao encontro 01, associada a ocorrências de queima/incêndio sob o viaduto. Em regiões de drenos, muitos deles quebrados e entupidos, registraram-se manchas de umidade, eflorescências e, localmente, biofilme, acompanhadas de lascamento, desagregação e perda de cobrimento, com oxidação das armaduras. Também foram observadas fissuras e deterioração em regiões de fixação do guarda-corpo, com exposição do aço.

Destaca-se a viga transversina localizada no encontro 01 da pista esquerda, com fissuras inclinadas próximas a 45°, lascamento avançado e exposição de armaduras longitudinais e estribos, o que configura condição compatível com solicitação anômala e exige avaliação detalhada por meio de ensaios para constatações seguras quanto à resistência e à integridade do elemento.

4.2 Anomalias em encontros, taludes e aparelhos de apoio

Nos encontros, verificaram-se problemas relevantes na interface entre o tabuleiro e os acessos. No encontro 01 da pista esquerda, foi observado um rompimento localizado, com acúmulo de detritos e de vegetação. No encontro 01 da pista direita, foram identificadas fissuras no concreto. Em ambos, registrou-se desnível entre o aterro de acesso e o encontro, associado a indícios de assentamento e fissuras no talude, o que pode contribuir para o impacto dinâmico na transição e para solicitação adicional em juntas e aparelhos de apoio. A região do encontro 02, em ambas as pistas, não pôde ser adequadamente avaliada devido a restrições de acesso, incluindo a ocupação irregular do entorno. Essa limitação reforça a necessidade de uma inspeção especial com acesso completo e condições de segurança apropriadas.

A observação de fissuras no talude e de possível assentamento de aterro sugere a necessidade de acompanhamento e, se confirmada a atividade, de intervenção geotécnica local. Como medida inicial, recomenda-se monitorar a abertura de fissuras e recalques e, caso as manifestações sejam passivas, recompor o nível dos acessos de forma compatível com o desempenho funcional do viaduto.

4.3 Elementos funcionais e condições de uso

Quanto aos elementos funcionais, verificou-se obstrução das juntas de dilatação por detritos e recobrimento com concreto asfáltico, com saliências que provocam desconforto ao usuário e impactam a passagem de veículos. Não foi possível identificar perfis de vedação ou a abertura efetiva das juntas. O pavimento apresentou trincas transversais de espaçamento semelhante ao das vigas transversais, trincas longitudinais, remendos com saliências e depressões, e ocorrência de panela em junta de dilatação.

Durante a inspeção, foi percebida vibração excessiva do tabuleiro com a passagem de veículo de carga pesada (caminhão-trator trucado com semirreboque, classe 3S3) na região próxima ao pilar 06 da pista direita, o que sugere a necessidade de investigação específica do comportamento dinâmico e das condições de apoio. A sinalização horizontal e vertical foi considerada deficiente, sem indicação da classe de capacidade de carga, o que eleva o risco operacional e justifica a atribuição de nota baixa no parâmetro funcional.

4.4 Acessibilidade, proteção e elementos não previstos em projeto

O passeio não atende integralmente aos requisitos de acessibilidade da ABNT NBR 9050:2020, em função de degraus nos acessos e de guarda-corpo com altura observada de aproximadamente 0,90 m, além de trechos com integridade comprometida e vegetação que dificulta a passagem. Foram identificadas ainda chapas de aço fixadas entre as duas pistas, em estado avançado de corrosão e com acúmulo de vegetação, além de uma abertura na grade de proteção sobre a faixa de domínio ferroviário.

4.5 Classificação, priorização e implicações para gestão

A síntese das anomalias observadas e das recomendações terapêuticas foi organizada em categorias de elementos estruturais e funcionais. As recomendações concentram-se em: limpeza geral e desobstrução; recuperação de drenos com prolongamentos/desvios para evitar o lançamento de água sobre elementos estruturais; tratamento de fissuras; recomposição do cobrimento e tratamento das armaduras; recuperação de juntas de dilatação; avaliação e desobstrução de aparelhos de apoio; e investigação detalhada de elementos críticos (viga transversina e encontro 01).

A classificação final resultou em nota 3 (condição regular) para o parâmetro estrutural, indicando anomalias moderadas que não afetam a estabilidade de imediato, mas que requerem ações de manutenção significativas no médio prazo. Para o parâmetro funcional, atribuiu-se nota 2 (condição ruim), em função de deficiências de sinalização e de desconforto associado a juntas e ao pavimento, o que exige intervenções de curto prazo. A Tabela 2 apresenta uma síntese das anomalias e das recuperações terapêuticas.

Tabela 2. Síntese das anomalias e das recomendações terapêuticas.

Categoria	Evidência observada	Recomendação terapêutica
Drenagem	Drenos quebrados e entupidos; manchas de umidade e empoçamentos próximos às juntas.	Limpeza geral e desobstrução; reposição de drenos com prolongamentos ou desvios, a fim de evitar o lançamento de água sobre a estrutura.
Superestrutura	Fuligem na face inferior; eflorescências e biofilme; lascamento/desagregação e exposição de armaduras por corrosão.	Limpeza de superfícies; investigação da carbonatação e do estado de passivação; tratamento de armaduras e recomposição do cobrimento; proteção superficial conforme o diagnóstico.
Viga transversina (Encontro 01, pista esquerda)	Fissuras inclinadas próximas a 45°, lascamento avançado e armaduras expostas.	Inspeção especial antecipada e investigação por meio de ensaios; avaliação da resistência e da integridade por profissional habilitado; reparo/reforço conforme o diagnóstico.
Aparelhos de apoio	Bloqueio e distorção de neoprene no pilar 02 (pista direita) e obstruções pontuais de detritos.	Desobstrução e reavaliação funcional; inspeção detalhada para verificação de deslocamentos e de condições de apoio.

Juntas de dilatação	Obstrução por detritos e cobertura por recapeamento; saliências e depressões gerando desconforto e impacto.	Limpeza e recuperação das juntas; verificação e instalação de perfis de vedação; recomposição dos berços; correção geométrica do pavimento na transição.
Pavimento	Trincas transversais e longitudinais; remendos com saliências/depressões; panela em junta; vibração percebida com carga pesada.	Investigação do comportamento do tabuleiro e dos apoios; recuperação do pavimento, com correção de irregularidades e restauração da drenagem local.
Acessibilidade e proteção	Degraus nos acessos; guarda-corpo danificado e altura reduzida; vegetação no passeio.	Projeto de acessibilidade, contemplando rota acessível (ABNT NBR 9050:2020); recuperação e adequação do guarda-corpo; poda e remoção de vegetação.
Elementos adicionais	Chapas de aço entre as pistas, com corrosão e vegetação; abertura na grade de proteção.	Remoção/substituição por solução compatível; tratamento anticorrosivo e revisão das fixações; fechamento das aberturas de proteção.
Sinalização e operação	Sinalização horizontal e vertical deficiente; ausência de indicação de capacidade de carga.	Estudo da classe de capacidade de carga; implantação e recuperação da sinalização e, se necessário, das restrições operacionais.

A Tabela 3 elenca a classificação obtida, de acordo com a ABNT NBR 9452:2019, para os parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade. Para o parâmetro de durabilidade, também se atribuiu nota 2 (condição ruim), dada a presença abundante de umidade, eflorescências, biofilme, fissuração considerada inaceitável e sinais de corrosão da armadura, o que compromete a vida útil e demanda ações de manutenção relevantes em curto prazo. As recomendações da ficha cadastral elaborada incluem, além das terapias pontuais, a necessidade de estudo do trem-tipo e de definição da classe de capacidade de carga, a fim de embasar a sinalização e eventuais restrições operacionais. Em viadutos urbanos com tráfego pesado, o alinhamento entre capacidade, condições de apoio e irregularidades de pista é determinante para reduzir vibrações e prolongar a vida útil.

Tabela 3. Classificação obtida conforme ABNT NBR 9452:2019.

Parâmetro	Nota	Condição	Principais motivadores (síntese)
Estrutural	3	Regular	Deterioração localizada (viga transversal e regiões de encontro), fissuração e perdas de cobrimento, sem evidência de instabilidade imediata.
Funcional	2	Ruim	Juntas e pavimento com ressaltos e defeitos; sinalização deficiente; desconforto e impacto sobre o usuário.
Durabilidade	2	Ruim	Umidade persistente; drenos obstruídos ou quebrados; eflorescências, biofilme; corrosão e exposição de armaduras em pontos.

5. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que a inspeção visual e tátil, estruturada conforme a ABNT NBR 9452:2019, é capaz de identificar anomalias relevantes e subsidiar uma classificação preliminar de desempenho em OAEs urbanas, mesmo com restrições de acesso. No viaduto analisado, a drenagem deficiente e as intervenções sucessivas no pavimento e nas juntas de dilatação configuram fatores-chave para a degradação funcional e para a aceleração dos mecanismos de deterioração.

A presença de fissuração significativa, perda de cobrimento e corrosão em regiões associadas à umidade, bem como a deterioração localizada de viga transversina e de elementos de encontro, justifica a recomendação de antecipação de inspeção especial, com equipe habilitada, acesso completo às regiões inferiores e execução de ensaios complementares voltados a diagnosticar carbonatação, estado de passivação das armaduras, integridade de aparelhos de apoio e comportamento dinâmico do tabuleiro.

Entre as ações imediatas, priorizam-se a recomposição do sistema de drenagem, a limpeza e a recuperação das juntas de dilatação, a qualificação da sinalização e a eliminação de condições que favoreçam a permanência de água e de agentes agressivos sobre a estrutura. Em paralelo, recomenda-se o planejamento de intervenções de reparo local e de proteção superficial, com base em um diagnóstico aprofundado, para restabelecer a vida útil e reduzir os riscos aos usuários.

A metodologia aplicada mostrou-se eficaz para diagnosticar anomalias significativas na estrutura inspecionada. Recomenda-se a realização de inspeção especial por equipe especializada, além da implementação de um plano contínuo de manutenção preventiva. A replicabilidade do estudo pode ser útil para outras gestoras públicas no planejamento de conservação de OAEs.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452: **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). IPR 709: **Manual de inspeção de pontes rodoviárias**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. 1988. 238 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1988.

DW ENGENHARIA. **Laudo Técnico: Viaduto Voluntários da Pátria**. Porto Alegre: Trensurb - Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre, 2023. 21 p. Disponível em: <https://portaldatransparencia.gov.br/>. Acesso em: 06 agosto 2023

GEIPOT. **Projeto de Obra de Arte Especial: Viaduto da Rua Voluntários da Pátria**. Porto Alegre, 1978. Plantas estruturais. Disponível em: <https://portaldatransparencia.gov.br/>. Acesso em: 06 de agosto de 2023.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras de concreto armado**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1986.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propiedades del concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SHIRAKAWA, M. A. **Estudo da biodeterioração do concreto por Thiobacillus**. (1994). Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SITTER, K. **Costs of Preventive and Corrective Maintenance**. 1983.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.

TRENSURB. **História**. 2023. Disponível em: <https://www.trensurb.gov.br/paginas/paginas_detalhe.php?codigo_sitemap=48>. Acesso em: 09 de agosto de 2023.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete**. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.

VERLY, R. C. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais**. 2015. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2015.

CAPÍTULO 12 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/jb2v0j53
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/7wb95717

PREVISÃO DE VIDA ÚTIL POR CARBONATAÇÃO EM ESTRUTURA EXISTENTE: COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE TUUTTI E POSSAN EM EDIFICAÇÃO DE 1973 EM PORTO ALEGRE-RS

Pedro Rafael Schirmer[1]; Luciani Somensi Lorenzi[2]*; Lucas Alexandre Reginato[2]; Alexandre Lorenzi[2]
*Autor de contato: luciani.lorenzi@ufrgs.br

[1] Departamento de Engenharia Civil (DECIV), Laboratório de Ensaios e Modelos Experimentais (LEME), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil
[2] Instituto de Desempenho da UFRGS, Laboratório de Ensaios e Modelos Experimentais (LEME), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

Métodos de previsão de vida útil (VUP) por carbonatação apoiam decisões de inspeção, diagnóstico e planejamento de manutenção de estruturas de concreto armado. Este trabalho aplica e compara os métodos de Tuutti (1982) e de Possan (2010) nas abordagens determinísticas e probabilísticas de uma edificação existente, construída em 1973, na cidade de Porto Alegre, RS. Foram obtidas, por meio de ensaio in loco com fenolftaleína, 18 medições de cobrimento (média de 31,29 mm; desvio padrão de 11,93 mm) e 103 medições de profundidade de carbonatação (média de 21,73 mm; desvio padrão de 7,24 mm). Devido à amostragem limitada, os dados foram agregados para representar um componente estrutural fictício do sistema. Para a idade atual de 51 anos, as previsões resultaram em 106 anos (Tuutti), 37 anos (Possan determinístico) e 11 anos (Possan probabilístico), adotando-se Pf = 20% como critério de falha (β = 0,84). Discute-se a sensibilidade do método de Possan quando os parâmetros de entrada se afastam do domínio de calibração, o que tem efeito acentuado na abordagem probabilística. Conclui-se que os métodos são úteis na rotina de avaliação, desde que sejam explicitados as hipóteses, os limites de validade e as implicações para a tomada de decisões de intervenção.

Palavras-chave: vida útil; carbonatação; durabilidade; confiabilidade; inspeção.

ABSTRACT

Service-life prediction methods for carbonation support inspection, diagnosis, and maintenance planning of reinforced concrete structures. This paper applies and compares Tuutti's method (1982) and Possan's method (2010) in deterministic and probabilistic approaches for an existing building built in 1973 in Porto Alegre, Brazil. Field data comprised 18 cover measurements (mean 31.29 mm; standard deviation 11.93 mm) and 103 carbonation depth measurements (mean 21.73 mm; standard deviation 7.24 mm) obtained through on-site phenolphthalein testing. Due to limited sampling, data were aggregated into a representative fictitious structural component. For a current age of 51 years, predicted service lives were 106 years (Tuutti), 37 years (Possan deterministic), and 11 years (Possan probabilistic), adopting Pf = 20% (β = 0.84) as the failure criterion. Results highlight the sensitivity of Possan's model when input parameters fall outside its calibration domain, with stronger distortion under probabilistic simulation. Both methods can be integrated into assessment routines provided that assumptions, validity limits, and decision-making implications are explicitly stated.

Keywords: service life; carbonation; durability; reliability; inspection.

1. INTRODUÇAÕ

Processos de deterioração em estruturas de concreto armado, em especial os associados à despassivação e à corrosão das armaduras, são causas recorrentes de manifestações patológicas e de necessidade de reabilitação. Entre esses processos, a carbonatação destaca-se por reduzir o pH da matriz cimentícia e comprometer a camada passivadora do aço, criando condições favoráveis ao início da corrosão (TUUTTI, 1982; ACI, 2000).

A quantificação da vida útil associada à carbonatação é relevante para sistemas estruturais e elementos expostos, pois orienta a priorização de inspeções, a definição de níveis de risco aceitáveis e a seleção de estratégias de manutenção. Para edificações existentes, nas quais a variabilidade executiva e a ausência de registros completos são comuns, métodos de previsão de vida útil devem ser aplicados de forma pragmática, com rastreabilidade das hipóteses adotadas e vínculo com evidências de campo.

Neste contexto, o método de Tuutti (1982) é amplamente empregado como referência por sua simplicidade e por considerar a evolução da frente de carbonatação proporcional à raiz quadrada do tempo, ajustada por um coeficiente empírico. Já o método de Possan (2010) propõe uma formulação com variáveis ambientais e do material, podendo ser aplicado de forma determinística ou probabilística (Monte Carlo), incorporando variabilidade estatística e um critério de falha por probabilidade.

Este trabalho tem como objetivo aplicar e comparar os métodos de Tuutti (1982) e de Possan (2010) nas abordagens determinística e probabilística, em um estudo de caso real de edificação construída em 1973, em Porto Alegre, RS. Além de apresentar o procedimento de obtenção de dados in loco e de parametrização, discute-se a coerência dos resultados e as limitações de validade quando os parâmetros de entrada se afastam do domínio de calibração dos modelos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A carbonatação é um processo físico-químico em que o dióxido de carbono (CO_2) difunde-se pelos poros do concreto e reage com os produtos de hidratação, reduzindo a alcalinidade da matriz. Quando a frente carbonatada atinge a profundidade das armaduras (cobrimento), o aço pode perder sua condição passiva, iniciando-se a fase de propagação da corrosão em presença de umidade e oxigênio (TUUTTI, 1982).

Em termos práticos, modelos de avanço de carbonatação frequentemente adotam uma dependência da raiz quadrada do tempo, refletindo um mecanismo de difusão dominante. A condição de exposição (por exemplo, estruturas externas desprotegidas das intempéries) é determinante, pois controla a umidade, a concentração de CO_2 disponível e a cinética das reações, o que influencia o coeficiente de carbonatação.

Normas e documentos de referência reconhecem que os requisitos de durabilidade dependem do ambiente e do nível de confiabilidade desejado, recomendando que as hipóteses e parâmetros sejam compatíveis com o contexto de exposição (ISO, 2008; fib, 2010). Para estruturas existentes, a avaliação dos cobrimentos reais e das profundidades de carbonatação por meio de ensaios in loco fornece evidências diretas e deve ser integrada à previsão.

2.1 Método de Tuutti (1982)

Na formulação clássica, Tuutti (1982) organiza o processo de deterioração em duas fases: iniciação, correspondente ao tempo necessário para que a frente carbonatada atinja a armadura, e propagação, associada à evolução da corrosão após a despassivação. Para a fase de iniciação, é usual empregar um modelo do tipo $x_c(t) = k \cdot \sqrt{t}$, em que x_c é a profundidade de carbonatação e k é um coeficiente empírico ajustado à realidade do concreto e do ambiente.

Em aplicações em estruturas existentes, o coeficiente k pode ser calibrado com base em medições de profundidade de carbonatação e em idade conhecida, permitindo estimar o tempo de atingimento do cobrimento médio. Uma limitação inerente à abordagem é o uso de valores médios, o que pode subestimar o efeito de falhas localizadas e de variabilidade elevada no cobrimento.

2.2 Método de Possan (2010) e abordagem probabilística

O método de Possan (2010) modela o avanço da frente de carbonatação por meio de uma equação calibrada com base em dados experimentais, incorporando variáveis relacionadas ao material e ao ambiente, como resistência à compressão, umidade relativa, teor de CO2 e cobrimento. A aplicação pode ser determinística, usando valores representativos (médias) dos parâmetros de entrada, ou probabilística, tratando os parâmetros de entrada como variáveis aleatórias com distribuições de probabilidade.

Na abordagem probabilística, a condição de falha pode ser expressa por uma função limite g(X), que compara a resistência (por exemplo, o cobrimento) à solicitação (a profundidade de carbonatação prevista). A probabilidade de falha Pf é estimada por meio de simulações de Monte Carlo, que geram amostras fictícias das variáveis conforme suas distribuições e avaliam a fração de simulações em que $g(X) < 0$. Possan (2010) adota, para o estudo de durabilidade, índices de confiabilidade compatíveis com as recomendações do fib Model Code 2010 e da ISO 13823 (fib, 2010; ISO, 2008).

No presente estudo, o critério de falha adotado é Pf = 20% ($\beta = 0{,}84$), conforme a referência ISO 13823 utilizada por Possan (2010). Esse nível de confiabilidade é adequado para discutir a proximidade do fim de vida útil da análise em avaliações preliminares, devendo ser contextualizado em relação ao risco aceitável e às consequências de uma falha na tomada de decisão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Estudo de caso e condições de exposição

A construção em estudo situa-se na cidade de Porto Alegre, RS, próxima ao centro histórico e à margem do Guaíba, tendo sido construída em 1973. A estrutura é de concreto armado, com resistência característica à compressão de projeto de 12 MPa e cobrimento prescrito de 30 mm, mais conservador do que a prescrição de 20 mm da NB1 então em vigor (ABNT, 1960).

Foram avaliados pilares externos, expostos ao ambiente e desprotegidos das intempéries, com discriminação por orientação solar (oeste, norte e leste). Apesar de a orientação poder influenciar o microclima local, os modelos aplicados não a consideram explicitamente, razão pela qual o ambiente foi tratado de forma uniforme como exposição externa desprotegida.

3.2 Plano de investigação e amostragem

Os dados de entrada foram obtidos por meio de ensaios in loco e de medições diretas. A quantidade de amostras foi limitada, totalizando 18 entradas para cobrimento e 103 para profundidade de carbonatação, distribuídas em quatro grupos de peças. Para evitar que a variabilidade entre elementos individuais impedisse a comparação entre métodos, as amostras foram agregadas em um único componente estrutural fictício, considerado representativo do sistema estrutural como um todo.

A adoção de um componente estrutural representativo é uma escolha metodológica adequada quando o objetivo é demonstrar o procedimento de aplicação dos modelos e discutir a sensibilidade aos parâmetros, mas impõe limitações. Em particular, a agregação tende a mascarar pontos críticos associados a cobrimentos mínimos e a falhas localizadas, devendo ser explicitada como fonte de incerteza.

3.3 Ensaio de profundidade de carbonatação

A profundidade atual de carbonatação foi medida diretamente nas estruturas com o uso de um indicador de acidez (fenolftaleína). O procedimento consistiu em perfurar uma abertura por serra-copo, previamente guiada por um furo piloto, escolhendo-se a posição de modo a evitar atingir armaduras ou estribos e a minimizar o impacto na capacidade portante durante o ensaio.

Após a extração do miolo e a limpeza da superfície exposta, aspergiu-se solução de fenolftaleína na proporção 1:49:50 (fenolftaleína, álcool e água, respectivamente). A viragem para a rosa indica concreto não carbonatado, permitindo medir a profundidade carbonatada com um paquímetro. Ao final do ensaio, o furo foi preenchido com graute estrutural para a recomposição e a proteção da armadura.

3.4 Medição de cobrimento

A espessura de cobrimento foi obtida por medição direta com paquímetro durante a abertura das janelas de inspeção realizadas no ensaio de carbonatação. As medições foram registradas e tratadas estatisticamente para a obtenção da média e do desvio padrão.

No método probabilístico, o cobrimento foi tratado como variável aleatória com distribuição lognormal, conforme recomendação de Possan (2010), e a transformação inversa foi aplicada para gerar amostras fictícias a partir de números aleatórios uniformes.

3.5 Estimativa e adoção de parâmetros de entrada

Além dos dados obtidos em campo (cobrimento e carbonatação), os parâmetros necessários ao método de Possan (2010) foram adotados com base em hipóteses justificadas e em fontes documentadas. A resistência à compressão foi tomada como 12 MPa, com desvio padrão de 7,0 MPa, de acordo com recomendação de variabilidade para condição de preparo compatível com concretos de 10 a 15 MPa (ABNT, 2015).

A umidade relativa do ar foi adotada com base na Normal Climatológica 1991-2020 para Porto Alegre, resultando em média de 75,2% e desvio padrão de 9,82%. Para o teor de CO_2 atmosférico, adotaram-se o valor médio de 0,042% e o desvio padrão de 0,0022%, com base em dados reportados por Stoco (2022) e discutidos no estudo base.

3.6 Aplicação dos modelos e critérios de falha

No método de Tuutti (1982), considerou-se apenas a fase de iniciação como contributiva para a vida útil de análise, isto é, o tempo necessário para que a profundidade de carbonatação alcance o cobrimento. O coeficiente de carbonatação foi calibrado com base na profundidade medida em campo e na idade atual da estrutura, e a vida útil prevista foi obtida ao igualar a profundidade prevista ao cobrimento médio.

No método de Possan (2010) determinístico, as médias dos parâmetros de entrada foram aplicadas diretamente na equação modeladora, resultando em uma vida útil de análise definida pelo atingimento do cobrimento. Na abordagem probabilística, as variáveis foram tratadas como aleatórias, com distribuições propostas por Possan (2010): resistência à compressão, teor de CO2 e umidade relativa, com distribuições normais e lognormais, e cobrimento, com distribuição lognormal. A simulação de Monte Carlo foi implementada em uma planilha eletrônica e validada por meio de comparação com o software comercial (ModelRisk), conforme descrito no estudo-base.

Adotou-se como critério de falha o atingimento da probabilidade de falha Pf = 20%, associado ao índice de confiabilidade $\beta = 0{,}84$, compatível com a ISO 13823 (ISO, 2008) e com a aplicação apresentada por Possan (2010) para estados limites de durabilidade.

3.7 Implementação da simulação de Monte Carlo e transformação inversa

Na abordagem probabilística, a simulação de Monte Carlo foi empregada para propagar a variabilidade das variáveis de entrada até a variável resposta (profundidade de carbonatação prevista). O procedimento consiste em gerar um conjunto de amostras fictícias para cada variável aleatória, de modo que a frequência das amostras convirja à função de distribuição de probabilidade (f.d.p.) assumida.

Para isso, foram gerados números aleatórios uniformemente distribuídos entre 0 e 1 e aplicada a transformação inversa da função de probabilidade acumulada (f.p.a.) de cada variável. Em uma planilha eletrônica, esse processo pode ser implementado por meio de funções do tipo NORM.INV(RAND(); μ; σ) para variáveis normais e LOGNORM.INV(RAND(); μ*; σ*) para variáveis lognormais.

No caso do cobrimento, tratado como variável lognormal, é necessária a conversão dos parâmetros da distribuição a partir da média (μ) e do desvio padrão (σ) medidos em campo. A conversão é feita por: $\mu^* = \ln(\mu^2 / \mathrm{sqrt}(\mu^2 + \sigma^2))$ e $\sigma^* = \mathrm{sqrt}(\ln(1 + \sigma^2/\mu^2))$, permitindo a geração de amostras com média e variância compatíveis.

Um aspecto prático relevante é a reprodutibilidade. Em implementações em Excel, a fixação de semente do gerador aleatório não é nativa; assim, quando se deseja rastreabilidade, recomenda-se gerar previamente a lista de números aleatórios e fixá-la como valores no arquivo, chamando-a por referência nas funções de transformação inversa.

3.8 Função limite, probabilidade de falha e índice de confiabilidade

A avaliação probabilística requer a definição de uma função limite g(X) que separa os domínios de segurança e de falha. Para estados limites de durabilidade por carbonatação, uma representação direta é g(X,t) = c - x_c(t), em que c é o cobrimento (aleatório) e x_c(t) é a profundidade de

carbonatação prevista (aleatória por depender das demais variáveis de entrada). A falha ocorre quando $g(X,t) < 0$, ou seja, quando a frente carbonatada atinge ou ultrapassa a armadura.

A probabilidade de falha Pf(t) é estimada como a razão entre o número de simulações que resultam em $g(X,t) < 0$ e o número total de simulações: $Pf(t) = N_falha / N_total$. A curva Pf(t) ao longo do tempo pode então ser usada para definir a vida útil de análise como a menor idade em que Pf(t) ultrapassa um valor alvo.

O índice de confiabilidade β é frequentemente utilizado como métrica equivalente. Para distribuições aproximadamente normais do estado limite, há uma relação monotônica entre β e Pf. No presente estudo, adotou-se $\beta = 0{,}84$, correspondente a Pf = 20% conforme a ISO 13823, seguindo a prática reportada por Possan (2010) em avaliações de durabilidade.

3.9 Síntese das variáveis aleatórias e parâmetros adotados

O Quadro 1 sintetiza as variáveis consideradas aleatórias, as distribuições assumidas e os parâmetros (médias e desvios-padrão) utilizados na simulação probabilística.

Quadro 1 – Variáveis aleatórias adotadas na abordagem probabilística.

Variável	Distribuição	Média	Desvio padrão
Resistência à compressão (MPa)	Normal	12	7,0
Umidade relativa (%)	Normal	75,2	9,82
Teor de CO2 (%)	Normal	0,042	0,0022
Cobrimento (mm)	Lognormal	31,29	11,93

Fonte: Possan (2010) e dados de campo (autoria própria).

3.10 Procedimento operacional recomendado para aplicação em rotina de inspeção

Com base no estudo, propõe-se um procedimento operacional mínimo para aplicação dos métodos em avaliações de patologia: (i) levantamento de dados de projeto e de histórico de exposição; (ii) inspeção visual e seleção de pontos críticos; (iii) abertura controlada de janelas de inspeção para medição de cobrimento e carbonatação; (iv) tratamento estatístico para obtenção de parâmetros e identificação de mínimos; (v) aplicação de modelos determinísticos para triagem; (vi) aplicação probabilística somente quando as distribuições de entrada forem suportadas por amostragem suficiente e quando o caso esteja dentro do domínio de calibração; e (vii) integração dos resultados com critérios de risco e consequências para priorização de intervenções.

A etapa (iv) é particularmente relevante: além de médias e desvios-padrão, recomenda-se registrar percentis (por exemplo, P5) do cobrimento, pois são esses valores que determinam a probabilidade de falha em abordagens probabilísticas. Quando o objetivo é suportar a decisão de intervenção, a escolha do componente representativo deve ser justificada e, se possível, substituída por avaliação em grupos homogêneos de exposição ou por elementos com funções semelhantes.

4. RESULTADOS

4.1 Estatística dos dados de cobrimento e carbonatação

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva das medições de cobrimento. A Tabela 2 apresenta a estatística das medições de profundidade de carbonatação obtidas por meio de ensaios in loco.

Tabela 1 – Espessura de cobrimento medida in loco

Espessura de cobrimento (mm)	
Média	31,29
Desvio padrão	11,93

Fonte: os autores.

Tabela 2 – Profundidade de carbonatação medida em ensaio

Profundidade de carbonatação medida (mm)	
Média	21,73
Desvio padrão	7,24

Fonte: os autores.

4.2 Parâmetros ambientais e do material para o método de Possan

As Tabelas 3 a 5 sintetizam os parâmetros adotados para a aplicação do método de Possan (2010) no estudo, incluindo resistência à compressão, umidade relativa e teor de CO2.

Tabela 3 – Resistência à compressão adotada

Resistência à compressão (MPa)	
Média	12,0
Desvio padrão	7,0

Fonte: os autores.

Tabela 4 – Umidade relativa adotada

Umidade relativa (%)	
Média	75,2
Desvio padrão	9,82

Fonte: os autores, com base na Normal Climatológica 1991-2020 (INMET).

Tabela 5 – Teor de CO2 adotado

Teor de CO2 (%)	
Média	0,042

Desvio padrão	0,0022

Fonte: os autores, com base em Stoco (2022).

4.3 Previsões de vida útil

A Tabela 6 reúne os resultados de vida útil previstos pelos diferentes métodos para o componente estrutural representativo. Para o método probabilístico, a vida útil corresponde à idade em que a probabilidade de falha atinge 20% (β = 0,84).

Tabela 6 – Previsões de vida útil pelos métodos avaliados

Sistema	Idade atual (anos)	Tuutti (anos)	Possan determinístico (anos)	Possan probabilístico (anos)
Sistema estrutural	51	106	37	11

Fonte: os autores

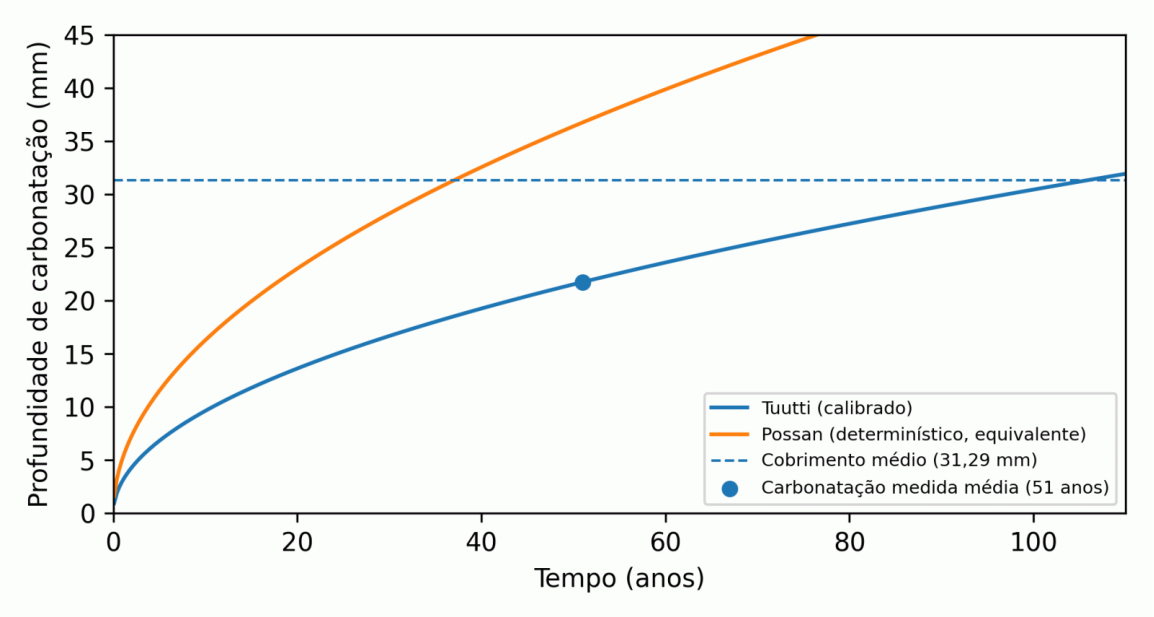


Figura 1 – Curvas ilustrativas do avanço da carbonatação para Tuutti (calibrado) e Possan (determinístico), com referência ao cobrimento médio e ao valor médio observado aos 51 anos. Fonte: os autores.

4.4 Observações sobre variabilidade, falhas localizadas e critério probabilístico

Os resultados evidenciam uma discrepância significativa entre os métodos. Enquanto Tuutti (1982) indica vida útil de análise superior à idade atual, a abordagem probabilística de Possan (2010) indica ultrapassagem do critério Pf = 20% em idade inferior à atual. Essa diferença decorre, em grande parte, de como a variabilidade é tratada e do critério de falha definido.

Como o método de Tuutti utiliza médias de cobrimento e de profundidade de carbonatação, não contempla diretamente falhas localizadas em alguns componentes, o que compromete o desempenho do sistema como um todo. Além disso, a aplicação em estruturas externas desprotegidas pode exigir cuidado adicional na interpretação, pois a condição de exposição pode reduzir ou aumentar a cinética, conforme o regime de umidade do concreto.

No método probabilístico, a falha é definida por ultrapassar uma probabilidade-alvo, o que significa que, mesmo com profundidade média inferior ao cobrimento médio, a presença de uma cauda inferior de cobrimentos (valores menores) pode levar a que a probabilidade de $g(X) < 0$ supere 20%. No estudo base, essa sensibilidade foi particularmente elevada quando os parâmetros de entrada se afastaram do domínio de construção do modelo de Possan (2010), especialmente quanto à resistência à compressão.

4.5 Comparação entre carbonatação medida e prevista (Possan probabilístico)

No estudo base, além da vida útil probabilística, foi registrada a profundidade média de carbonatação prevista pelo método de Possan (2010) para a idade atual do edifício (51 anos). A comparação direta com o valor médio medido permite avaliar a aderência global do modelo ao caso de estudo.

Observou-se que a profundidade média prevista pelo método de Possan, em abordagem probabilística, foi substancialmente superior ao valor médio medido em campo, sugerindo que a parametrização, especialmente a resistência à compressão adotada e sua variabilidade, conduz a uma cinética de carbonatação mais intensa do que a observada na estrutura real. Essa diferença ajuda a explicar, em parte, a previsão de vida útil reduzida quando se adota o critério Pf = 20%.

Tabela 7 – Carbonatação média medida e prevista na idade atual.

Idade (anos)	Carbonatação medida média (mm)	Carbonatação prevista média (mm)	Diferença (mm)	Relação prevista/medida
51	21,73	38,37	16,64	1,77

Fonte: os autores

4.6 Interpretação dos resultados frente aos limites de validade

Uma implicação direta da Tabela 7 é que a confiabilidade da previsão depende de quão representativos são os parâmetros adotados no caso real. Para concretos mais antigos e de baixa resistência, é possível que características microestruturais, como a relação água/cimento e o grau de hidratação ao longo do tempo, diferenciem-se das amostras utilizadas na calibração original do modelo, o que pode afetar o coeficiente efetivo de carbonatação.

Dessa forma, a aplicação de modelos calibrados em domínios distintos deve ser acompanhada de verificação com dados de campo. Quando a discrepância entre o medido e o previsto é elevada, recomenda-se reavaliar as hipóteses de entrada ou proceder à calibração do modelo com base em medições adicionais, antes de usar os resultados para a definição de intervenção.

5. DISCUSSÃO

A comparação entre os resultados mostra que o método de Tuutti (1982), calibrado diretamente pelos dados de campo, fornece uma estimativa de vida útil coerente com um modelo de difusão simplificado, mas potencialmente otimista quando se considera a variabilidade de cobrimento e a ocorrência de pontos críticos. A discrepância com Possan (2010) probabilístico reforça que, em avaliações de estruturas existentes, o uso de uma única métrica média pode ser insuficiente para capturar risco de despassivação em regiões localizadas.

Por outro lado, o método de Possan (2010) apresenta maior sofisticação ao incorporar variáveis ambientais e do material, bem como ao permitir análise probabilística. No entanto, o estudo evidencia que sua aplicação exige atenção ao domínio de calibração do modelo. A resistência característica de 12 MPa do estudo de caso é inferior às faixas de resistência típicas utilizadas na construção do modelo (20 a 60 MPa, conforme discutido no texto base), o que pode levar a distorções. Em particular, na abordagem probabilística, valores simulados na cauda inferior das distribuições podem reduzir excessivamente a vida útil prevista, resultando em valores conservadores.

A interpretação prática desses resultados deve ser orientada pela finalidade da avaliação. Em triagens e diagnósticos preliminares, a abordagem determinística de Possan (2010) pode fornecer um valor conservador, ainda coerente com observações de campo, enquanto a abordagem probabilística pode ser reservada para situações em que as distribuições de entrada sejam caracterizadas por um programa de ensaios mais robusto e em que a estrutura se situe no domínio de calibração do modelo.

Adicionalmente, o trabalho evidencia a importância de registrar e justificar os procedimentos de estimativa de dados não diretamente medidos. A adoção da umidade relativa como normal climatológica e do teor de CO2 com base em dados da literatura é adequada quando o objetivo é demonstrar a aplicação do método, mas deve ser substituída por medições locais quando a decisão de intervenção envolver consequências maiores.

Como perspectiva de aplicação em patologia das construções, recomenda-se integrar previsões de vida útil a inspeções sistemáticas e evidências de deterioração, estabelecendo níveis de ação. A identificação de instâncias em que a carbonatação atingiu a armadura, observada durante os ensaios de campo, sugere que intervenções localizadas (recomposição, proteção superficial ou tratamento anticorrosivo) podem ser prioritárias mesmo quando a previsão média indicar vida útil remanescente.

5.1 Implicações para inspeção, priorização de intervenções e tomada de decisão

Em termos de gestão de ativos, a principal utilidade de uma previsão de vida útil por carbonatação é apoiar decisões com um horizonte temporal explícito, reduzindo arbitrariedades. Quando a estrutura apresenta idade avançada e evidências locais de despassivação, o modelo deve ser usado para orientar onde intensificar os ensaios e quais componentes demandam intervenção imediata, e não como substituto do diagnóstico.

No caso analisado, a elevada dispersão do cobrimento sugere que intervenções baseadas apenas nas médias podem deixar zonas de maior vulnerabilidade sem tratamento. Assim, recomenda-se que programas de inspeção incluam, além de medidas de carbonatação, o mapeamento do cobrimento por métodos complementares (por exemplo, pacometria) e a definição de regiões críticas, priorizando as faces mais expostas ao regime de umidade e aos ciclos de molhagem e secagem.

O critério probabilístico Pf = 20% (β = 0,84) deve ser interpretado como um limiar de alerta, compatível com avaliações preliminares e com a necessidade de considerar as consequências. Para elementos com elevada consequência de falha, a organização pode adotar alvos mais restritivos (Pf mais baixo), o que reduzirá a vida útil de análise e intensificará a necessidade de ações preventivas.

5.2 Limitações do estudo e recomendações para trabalhos futuros

A principal limitação do estudo é a reduzida quantidade de medições de cobrimento, o que impõe incerteza elevada nos percentis inferiores da distribuição. Em abordagens probabilísticas, esses percentis determinam a probabilidade de falha, motivo pelo qual amostragens maiores ou métodos de varredura não destrutiva tendem a aumentar a robustez das conclusões.

Outra limitação decorre do uso de parâmetros ambientais obtidos por meio de normal climatológica e de teor de CO2 a partir da literatura, em vez de medições microclimáticas na fachada. Como a carbonatação é fortemente influenciada pela umidade no poro e pelos ciclos de exposição, recomenda-se, em estudos futuros, instrumentar a estrutura com sensores ou realizar campanhas de monitoramento para calibrar parâmetros locais.

Por fim, recomenda-se avaliar o desempenho dos modelos em faixas de resistência compatíveis com o seu domínio de calibração e, quando o concreto apresentar resistência inferior, considerar calibração adicional por meio de ensaios acelerados ou de modelos alternativos. Essa etapa é particularmente importante para evitar o conservadorismo excessivo em modelos probabilísticos, que pode levar a decisões de intervenção prematuras e a custos adicionais.

6. CONCLUSÕES

Os métodos de Tuutti (1982) e Possan (2010), nas abordagens determinística e probabilística, podem ser incorporados à rotina de investigação de edificações existentes, desde que haja rastreabilidade das hipóteses, dos dados de entrada e do critério de falha adotado.

No estudo de caso (51 anos de idade), as previsões de vida útil de análise foram: 106 anos (Tuutti), 37 anos (Possan determinístico) e 11 anos (Possan probabilístico, Pf = 20%). O método de Tuutti, por se basear em médias de cobrimento e de carbonatação, não contempla explicitamente falhas localizadas e pode subestimar o risco quando a variabilidade de cobrimento é elevada.

O método de Poisson mostrou-se adequado quando os parâmetros de entrada estão dentro do domínio de construção do modelo; afastamentos, como resistência à compressão inferior às faixas típicas, podem ocasionar distorções, potencializadas na abordagem probabilística pela influência de valores extremos.

Para uso em patologia das construções, recomenda-se que as previsões de vida útil sejam acompanhadas de inspeções direcionadas, com atenção às regiões de cobrimento mínimo e às evidências de carbonatação que atinjam as armaduras, a fim de orientar intervenções localizadas e estratégias de proteção.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 365: **Service-Life Prediction - State-of-the-Art Report**. ACI Manual of Concrete Practice, Detroit, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NB1: **Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado**. Rio de Janeiro, 1960.

COMITÉ EURO-INTERNATIONALE DU BÉTON (fib). **CEB-FIP Model Code for Concrete Structures** (2010). Lausanne: CEB, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13823: **General principles on the design of structures for durability**. Geneva, 2008.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

STOCO, M. A. **Dióxido de carbono na cidade de São Paulo: medidas em superfície e análises sazonais**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete**. Doctoral Thesis (Monograph). Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1982.

CAPÍTULO 13 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/9as5pt68
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/be989c45

ESTUDO DO DESEMPENHO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM ADIÇÃO DE MATERIAIS POZOLÂNICOS SUBMETIDAS À CORROSÃO ACELERADA POR IMERSÃO MODIFICADA – CAIM

Júlia Giordani Berton[1], Débora Pedroso Righi[2]*
*Autor de contato: righi.p.debora@gmail.com

[1] Departamento de Engenharia, Faculdade CESURG, Marau, Brasil
[2] Departamento de Engenharia Civil, Faculdade FTEC, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

A vida útil das estruturas de concreto armado tem se mostrado inferior àquela prevista em projeto, fato associado ao aumento significativo das manifestações patológicas nas construções. Dentre essas manifestações, a corrosão das armaduras destaca-se como a que mais compromete o desempenho estrutural, devido ao seu elevado potencial de dano e à redução da capacidade resistente dos elementos estruturais. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a durabilidade de três tipos de vigas de concreto armado submetidas ao processo de Corrosão Acelerada por Imersão Modificada (CAIM). Foram moldadas seis vigas, sendo duas vigas de referência; duas com substituição parcial de 10% do cimento por cinza de casca de arroz (CCA); e duas com substituição parcial de 10% do cimento por sílica ativa. De cada traço, uma viga foi submetida ao processo de corrosão acelerada. A avaliação do desempenho estrutural foi realizada por meio de ensaio de flexão à tração, comparando-se a resistência das vigas submetidas ao processo de corrosão com aquelas não submetidas. Os resultados indicam que a incorporação de materiais pozolânicos contribuiu para a redução do potencial de corrosão nas vigas de concreto armado, evidenciando melhoria na durabilidade do material.

Palavras-chave: concreto armado; corrosão; sílica ativa; CCA; CAIM.

ABSTRACT

The service life of reinforced concrete structures has been lower than that predicted in design, a fact associated with the significant increase in pathological manifestations in construction. Among these manifestations, reinforcement corrosion stands out as the one that most compromises structural performance due to its high damage potential and the reduction of the load-bearing capacity of structural elements. This study aimed to evaluate the durability of three types of reinforced concrete beams subjected to the Modified Immersion Accelerated Corrosion (CAIM) process. Six beams were cast: two reference beams; two with partial replacement of 10% of the cement by rice husk ash; and two with partial replacement of 10% of the cement by silica fume. From each mixture, one beam was subjected to the accelerated corrosion process.The structural performance was evaluated through a flexural tensile test, comparing the strength of beams subjected to the corrosion process with those not exposed to it. The results indicate that the incorporation of pozzolanic materials contributed to reducing the corrosion potential in reinforced concrete beams, demonstrating an improvement in the durability of the material.

Keywords: reinforced concrete; corrosion; silica fume; CCA; CAIM.

1. INTRODUÇÃO

No início da utilização do concreto, as estruturas eram consideradas elementos de elevada eficiência mecânica, com baixa necessidade de manutenção e reparos. Entretanto, com o passar do tempo, os problemas relacionados à deterioração e ao comprometimento estrutural das construções tornaram-se mais evidentes, impulsionando o desenvolvimento de estudos voltados à compreensão das causas e à busca de soluções para as manifestações patológicas em estruturas de concreto armado (Rodrigues, 2023). Diante desse cenário de crescente preocupação com o desempenho ao longo do tempo, tornou-se fundamental o estabelecimento de diretrizes normativas que orientassem o projeto e a execução dessas estruturas.

As normas brasileiras NBR 6118 (ABNT, 2026) e NBR 15575-1 (ABNT, 2025) estabelecem os requisitos mínimos relacionados à durabilidade, ao projeto, à vida útil e ao desempenho das estruturas de concreto armado, além de apresentarem diretrizes para a elaboração de projetos adequados às condições de exposição às quais as estruturas estarão submetidas, visando a durabilidade e vida útil das edificações. Ainda assim, a complexidade dos mecanismos de degradação exige avanços contínuos no conhecimento técnico e científico, indo além das prescrições normativas.

A preocupação com a durabilidade e a vida útil das edificações de concreto armado vem instigando a comunidade técnico-científica a desenvolver soluções que minimizem tanto o processo de degradação quanto os danos decorrentes. Comitês técnicos de organizações como a Federação Internacional do Concreto Estrutural – fib (*Fédération Internacionale du Béton*), o Instituto Americano de Concreto – ACI (*American Concrete Institute*) e o Comité Euro-Internacional do Concreto – CEB (*Comité Euro-International du Béton*) têm desenvolvido relatórios e práticas recomendadas acerca desses problemas relacionados à durabilidade e vida útil das estruturas. Os primeiros roteiros destinavam-se à durabilidade do concreto, como o ACI 201 (1992), intitulado "*Guide to Durable Concrete*", o CEB 183 (1992) – "*Durable Concrete Structures*" e o CEB 238 (1997), que aborda a corrosão nas estruturas – "*New approach to durability design: an example for carbonation-induced corrosion*". Essas contribuições reforçam a importância de compreender, de forma mais aprofundada, os conceitos fundamentais associados à durabilidade do concreto (Berton, 2022).

Segundo Stein (2019), a durabilidade é a capacidade que a estrutura tem de desempenhar as funções para as quais foi prevista ao longo do tempo; dessa forma, considera-se durável o concreto capaz de resistir aos processos de degradação decorrentes do meio no qual está inserido, sem necessidade de manutenções frequentes. A durabilidade das estruturas depende diretamente de fatores como a relação água/cimento (a/c), a classe de agressividade ambiental conforme a região de construção da edificação e as características dos materiais empregados (agregados, adições, aditivos e qualidade do aço). Dentre esses fatores, destaca-se a relação a/c, por controlar propriedades como permeabilidade, porosidade, capilaridade, densidade e compacidade, além da resistência mecânica. Essas propriedades, por sua vez, estão diretamente associadas aos mecanismos de degradação mais recorrentes nas estruturas de concreto armado, como a corrosão das armaduras (Reginato, 2020).

A corrosão das armaduras do concreto armado é uma das manifestações patológicas mais graves e frequentes, podendo ser causada por erros de projeto, falhas durante a execução, ausência de manutenção periódica ou pela exposição da estrutura a ambientes agressivos para os quais não foi projetada. As fissuras decorrentes desse processo estão associadas ao aumento de volume dos produtos de corrosão, gerando tensões internas que levam ao aparecimento de fissuras e

destacamentos do cobrimento, além de manchas características na superfície do concreto (Cabrera, 2014). Diante da relevância desse fenômeno para a durabilidade estrutural, torna-se essencial o desenvolvimento de métodos que permitam sua análise controlada em ambiente laboratorial.

Dessa forma, os estudos sobre os mecanismos envolvidos no processo de corrosão das armaduras são de grande relevância. Entre os métodos utilizados para simular ambientes agressivos em laboratório, destaca-se o método de Corrosão Acelerada por Imersão Modificada (CAIM), desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Esse método apresenta elevado potencial de aplicação, pois permite não apenas avaliar o grau de degradação estrutural provocado pela corrosão, mas também comparar o desempenho de diferentes tipos de concreto (Torres, 2006). Nesse sentido, a utilização de diferentes composições de matriz cimentícia surge como uma estratégia promissora para aumentar a resistência à corrosão.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar, em laboratório, a influência da substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz e sílica ativa na matriz cimentícia de vigas de concreto armado submetidas ao processo de corrosão acelerada.

2. DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS

Conforme Zhang *et al.* (2020), as velocidades agregadas à construção civil aliadas com edificações cada vez mais esbeltas e com constantes modificações do meio em que se encontram, apresentam um grande problema às estruturas de concreto armado, principalmente por conta das manifestações patológicas e falhas que possam vir a se manifestar ao longo do tempo. Desta forma, conforme Clifton (1993), nas últimas décadas, aspectos voltados à extensão da durabilidade e da vida útil das estruturas como um todo são uma tendência mundial. A durabilidade e a vida útil das estruturas de concreto armado são conceitos diretamente ligados, devido à direta dependência entre ambos.

Para Neville (2001) a durabilidade de uma estrutura não é uma propriedade particular da mesma, sendo resultante da interação entre o ambiente, a estrutura de concreto armado, as condições de uso e a manutenção da mesma. Desta forma, o pleno conhecimento dos materiais que compõe a estrutura, as particularidades de uso e o pleno conhecimento do ambiente em que a estrutura se encontra inserida, auxiliam de forma expressiva na previsão de comportamento da mesma e na prevenção de manifestações patológicas, aumentando assim sua durabilidade.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2026), a durabilidade das estruturas executadas em concreto armado depende de diversos fatores como: a resistência mecânica do concreto, a relação água-cimento (a/c), a porosidade, a densidade e a permeabilidade do concreto, o local de execução do mesmo e a agressividade presente no meio em que este se encontra. Com base nestes fatores, a referida norma estabelece os parâmetros de qualidade a serem utilizados conforme o tipo de estrutura e a localização de cada um dos elementos que constituem a mesma.

Em estruturas de concreto armado, o processo de deterioração dificilmente ocorre devido à causa isolada, conforme já comentado anteriormente. Um concreto pode apresentar qualidade satisfatória, porém um único fator adverso na qual a estrutura é sujeita pode desencadear o processo de deterioração. Lima (2005) apresenta que fatores como a umidade, a orientação e velocidade dos ventos, as variações de temperatura, a presença de substâncias agressivas no meio, a periodicidade das chuvas, além dos materiais que compõe o concreto e a porosidade do mesmo, são de extrema importância na interação entre o meio ambiente e o concreto. A permeabilidade do concreto é

ligada diretamente à vulnerabilidade da estrutura a agentes externos, ou seja, quanto maior a permeabilidade do concreto, maior é a sua vulnerabilidade (Santos, 2012).

2.1 Corrosão das armaduras

Para Soares *et al.* (2015), a corrosão das armaduras é uma das mais graves manifestações patológicas que afetam a estrutura, sendo segundo os autores, resultante de interações do material com o meio ambiente. Em estruturas de concreto armado estas manifestações são dadas por meio de manchas superficiais, fissuras, perda de massa das armaduras e destacamento do cobrimento que envolve a armadura.

Dentre as consequências da corrosão das armaduras que compõe estruturas de concreto, Cabral (2000), destaca a perda de massa da armadura transversal e o decréscimo na resistência mecânica, a formação de hidróxidos e óxidos que geram uma tendência ao aparecimento de fissuras e as perturbações no pleno funcionamento entre aço e concreto, comprometendo diretamente a durabilidade da estrutura como um todo.

A exposição das estruturas a substâncias como cloretos, sulfetos, dióxido de carbono e os nitritos, podem fazer com que a corrosão das armaduras ocorra de forma precipitada, devido ao fato de que ao entrarem em contato com o concreto provocam a ruptura da camada passiva que protege as barras de aço, facilitando assim a corrosão das mesmas (Helene, 1986). Para Mota *et al.* (2012), a corrosão devido a ação de cloretos pode ser definida como uma das principais causas da corrosão às armaduras. No concreto, os cloretos podem encontrar-se em componentes da mistura contaminados ou por meio da penetração através dos poros do concreto armado.

2.2 Corrosão por imersão modificada

O método de corrosão acelerada por imersão modificada – CAIM, desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em 1990, é um dos métodos mais utilizados para acelerar a corrosão em elementos de concreto armado.

Durante o ensaio, corpos de prova de concreto armado são expostos a uma solução de cloretos aliada a corrente elétrica constante, buscando facilitar a migração dos cloretos para a armadura (Graeff, 2007). Para isto, os corpos-de-prova são posicionados em caixas com uma solução de cloretos de 35,0 g/l, sendo ligadas em série à uma fonte de alimentação com corrente constante. O tempo de ensaio é definido de acordo com o grau de corrosão esperado, para que ocorra 10% de perda de massa são necessários aproximadamente 30 dias (Cabrera, 2014).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para a moldagem das vigas de concreto armado foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland CP-V ARI, areia natural média do tipo quartzosa, brita de origem balsáltica do tipo 1, sílica ativa e cinza de casca de arroz (com controle de queima e moagem, produto vendido comercialmente). Estes materiais foram caracterizados conforme suas respectivas normas, como pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização dos materiais utilizados.

Materiais	Massa específica (g/cm³)	Massa Unitária (g/cm³)
Cimento CP-V	3,15	-
Areia média	2,35	1,40
Brita 01	2,62	1,25
Sílica Ativa	2,20	-
Cinza de casca de arroz	1,90	-

Fonte: os autores.

A dosagem do concreto foi realizada utilizando o Método ABCP que consiste na adaptação do método desenvolvido pela ACI (*American Concrete Institute*) para agregados brasileiros. No método define-se uma relação a/c através das características dos materiais a serem utilizados e da resistência desejada. Também, é determinado no método o consumo de cada um dos materiais. Assim, o traço unitário utilizado foi 1:2,67:3,18 (cimento, areia e brita), com uma relação a/c de 0,65, de modo que garanta a resistência mínima de 20 MPa. Esta classe de resistência foi escolhida exclusivamente para garantir que houvesse corrosão de armadura neste estudo. Foram desenvolvidos três traços, sendo que em dois foram realizadas as substituições parciais do cimento (10%) por materiais pozolânicos, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Proporção dos materiais para os traços estudados (kg/m/3).

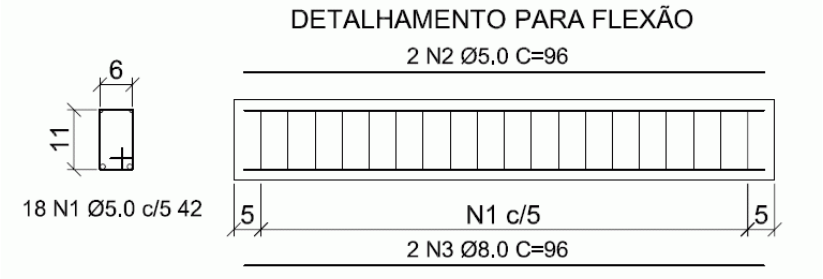
Traço	Cimento	Areia	Brita	Água	CCA	Sílica Ativa
Referência	10,30	27,50	32,74	6,70	-	-
10% CCA	10,20	27,50	32,74	6,70	1,02	-
10% Sílica Ativa	10,20	27,50	32,74	6,70	-	1,02

Fonte: os autores.

3.2 Execução dos elementos estruturais

As armaduras utilizadas neste estudo foram dimensionadas por Battisti (2017), conforme especificado na NBR 6118 (ABNT, 2026). Desta forma, foram utilizadas duas barras de armadura positiva com diâmetro de 8 mm de aço CA50 e duas barras negativas de aço CA60 com diâmetro de 5 mm, considerando um cobrimento nominal de 2 cm. Os estribos foram de aço CA60 e ficaram dispostos a cada 5 cm. A Figura 1 apresenta o detalhamento das armaduras para flexão.

Figura 1 – Detalhamento das armaduras para produção das vigas de concreto.



Fonte: os autores.

Após a finalização dos estribos e isolamento de todos os cantos em contato direto com as barras positivas, montou-se a armadura conforme as especificações de projeto. O passo seguinte foi a colocação de um fio de cobre para garantir a diferença de potencial durante o ensaio CAIM sobre as barras positivas. A capa protetora do fio de cobre foi completamente removida. Os pontos de

amarração na armadura transversal foram isolados, para que se diminua a probabilidade da perda localizada da seção das barras de aço.

Os três tipos de concreto executados (traço referência, traço com substituição parcial do cimento por sílica e com substituição parcial por cinza de casca de arroz) foram produzidos em betoneira e lançados nas fôrmas em uma única etapa. Antes do lançamento, realizou-se o ensaio para determinação do abatimento do concreto (*slump test*), conforme descrito pela NBR 16889 (ABNT, 2020).

Após a moldagem das 2 vigas pertencentes a cada um dos traços, foram moldados os corpos de prova referentes a cada traço (3 corpos de prova para cada idade) para a realização de ensaios de resistência no estado endurecido do concreto. Todo o ensaio foi realizado com base nos parâmetros expressos na NBR 5738 (ABNT, 2016). Terminada a moldagem de todos os corpos de provas e das 6 vigas, todos foram colocados em superfície lisa e livre de intempéries, onde iniciaram o processo de cura permanecendo por 24 horas. Após este período colocou-se os mesmos na câmara úmida com controle de umidade onde os corpos de prova permaneceram até o momento da execução dos ensaios em estado endurecido, nas idades de 7, 14 e 28 dias, e as vigas, até a execução do ensaio de CAIM, na idade de 28 dias.

3.2.1 Ensaio de resistência à compressão

Para a determinação da resistência à compressão do concreto, foi realizado o ensaio descrito pela NBR 7215 (ABNT, 2025) e pela NBR 5739 (ABNT, 2018). O ensaio foi realizado com 3 corpos de prova para cada uma das seguintes idades: 7, 14 e 28 dias após a moldagem dos mesmos.

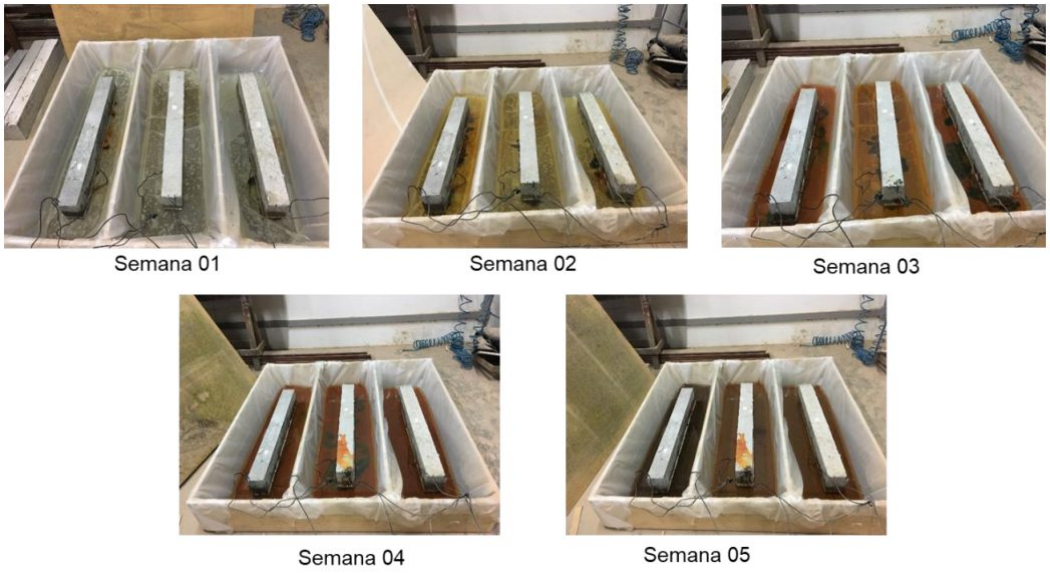
3.2.2 Ensaio de corrosão acelerada por imersão modificada – CAIM

Para a aceleração da corrosão em três das seis vigas moldadas foi utilizado o método CAIM, sendo uma referência, uma com substituição de 10% em volume de cinza de casca de arroz e uma com substituição de 10% em volume de sílica ativa. Para garantir a indução eletroquímica, o ensaio propõe a imersão parcial de corpos de prova em uma solução de íons de cloreto, que migram da solução para as barras da armadura por meio de estímulos elétricos (diferença de potencial), iniciando o processo de corrosão. Nesta etapa determinou-se também o tempo de ensaio necessário, que conforme os estudos de Graeff (2007), para que se atinja 10% de perda de massa o necessário são aproximadamente 30 dias.

Após a disposição das três vigas em cada protótipo, as mesmas foram preenchidas com a solução de cloretos até uma altura de cerca de 5 cm de altura, garantindo que a lâmina da solução ultrapassasse a barra de 8 mm localizada no interior da viga. O fio de cobre, presente no interior da viga, foi ligado ao polo positivo da fonte, atuando como ânodo do processo eletroquímico. Já o fio de cobre disposto imerso em torno de cada uma das vigas foi ligado ao polo negativo da fonte, atuando como cátodo no processo.

O processo de corrosão das vigas foi acompanhado semanalmente, avaliando-se a condição das vigas e a possibilidade de seguir-se com o ensaio. Na Figura 2 é possível visualizar a propagação da corrosão nas vigas, desde o dia no qual as vigas foram colocadas nos protótipos (semana 01) até sua retirada (semana 05).

Figura 2 – Propagação da corrosão nas vigas.



Fonte: os autores.

Após o término do ensaio de corrosão, adotou-se a nomenclatura disposta na Tabela 3 para cada uma das vigas.

Tabela 3 – Nomenclatura adotada

Nomenclatura	Código
Referência não corroída	REFNC
10% Cinza de casca de arroz não corroída	10CCANC
10% Sílica ativa não corroída	10SANC
Referência corroída	REFC
10% Cinza de casca de arroz corroída	10CCAC
10% Sílica ativa corroída	10SAC

Fonte: os autores.

3.2.3 Ensaio de resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado para todas as vigas, tanto as submetidas quanto as não submetidas ao ensaio de CAIM, com o objetivo de determinar a máxima deformação das mesmas. Para a realização do ensaio na prensa de compressão Emic 200PLUS, foram utilizados suportes metálicos adaptados. A resistência à tração na flexão das vigas ensaiadas é calculada conforme a NBR 12142 (ABNT, 2010), dependendo diretamente da localização da ruptura na viga.

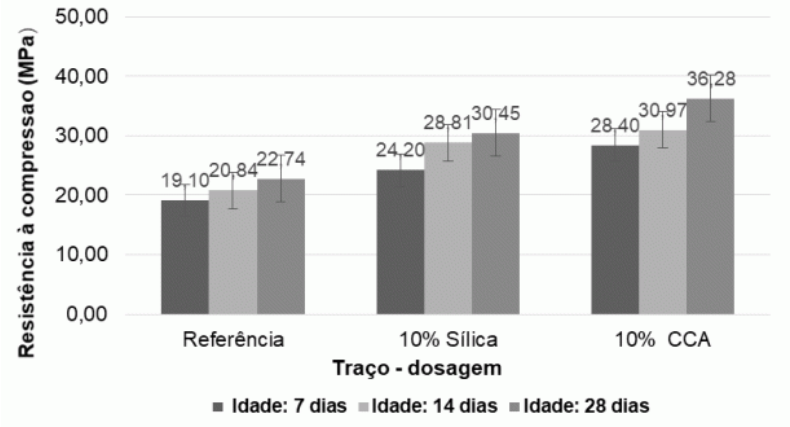
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Resistência à compressão simples

Os resultados de resistência mecânica à compressão simples dos corpos-de-prova dos traços utilizados neste estudo estão dispostos na Figura 3, o ensaio foi realizado para controle tecnológico do concreto. É possível observar que os traços com substituição parcial do cimento por sílica ativa e cinza de casca de arroz obtiveram resistências aos 28 dias superiores a obtida pelo traço referência na ordem de aumento de resistência em 33,90% para sílica ativa e 59,54% para traço com cinza de casca de arroz. Porém, o traço com substituição de 10% do cimento por cinza de casca de arroz apresentou resistência superior tanto ao traço referência quando ao traço com substituição do

cimento por 10% de sílica ativa na ordem de 19,15%. Righi (2015) já demonstravam que a cinza de casca de arroz vendida comercialmente possui uma reatividade bastante elevada aos 28 dias, pois seu índice pozolânico é 3 vezes superior à exigência da NBR 12653 (ABNT, 2015) que é da ordem de 90%.

Figura 3 – Resistência à compressão simples dos corpos de prova de concreto.

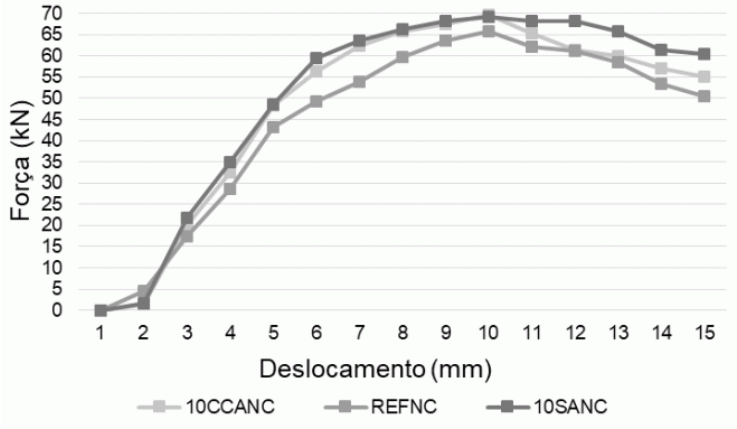


Fonte: os autores.

4.2 Resistência à tração na flexão

O desempenho à tração na flexão de cada uma das seis vigas pode ser analisado nas Figuras 4 e 5 a seguir, no qual a Figura 4 apresenta as vigas que não sofreram processo de corrosão e a Figura 5 as vigas expostas à corrosão.

Figura 4 – Resistência à tração na flexão nas vigas não expostas à corrosão.



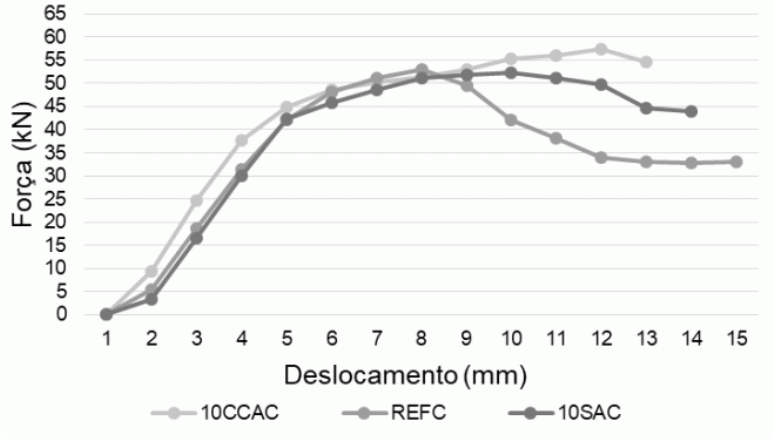
Fonte: os autores.

Com base na Figura 4, pode-se analisar um comportamento semelhante para todas as vigas não submetidas à corrosão. Todas as vigas apresentaram a carga máxima próxima ao deslocamento de cerca de 10 mm, tendo um deslocamento máximo de 15 mm. É possível também visualizar o maior ganho de força e maior homogeneidade de perda de carga das vigas com materiais pozolânicos em sua composição.

Na Figura 5, pode ser analisada a curva força x deslocamento para as vigas submetidas ao ensaio de corrosão acelerada. As vigas obtiveram comportamentos distintos quando ao ganho de resistência e o deslocamento máximo alcançado.

A viga referência (REFC) apresentou o pior comportamento dentre as 3 vigas submetidas ao processo corrosivo, apresentando um deslocamento de 7 mm para sua carga máxima e uma redução brusca no desempenho após este valor. A viga com sílica ativa (10 SAC) apresentou um deslocamento para a carga máxima próximo aos 10 mm, e uma perda de desempenho após este ponto de forma mais uniforme ao comparada com as demais vigas. Já a viga com cinza de casca de arroz (10CCAC) apresentou o melhor desempenho, tendo a carga máxima nos 11 mm de deslocamento.

Figura 5 – Resistência à tração na flexão nas vigas expostas à corrosão.



Fonte: os autores.

Na Tabela 4, são apresentados os resultados da carga de ruptura e flecha máxima de cada uma das vigas submetidas ao ensaio de resistência à tração na flexão.

Tabela 4 – Resistência a tração na flexão

Nomenclatura	Carga de Ruptura (MPa)	Flecha máxima (mm)
REFNC	26,28	16,81
REFC	14,10	15,99
10CCANC	27,88	16,94
10CCAC	26,96	17,27
10SANC	27,68	17,51
10SAC	20,92	17,14

Fonte: os autores.

As vigas não corroídas com substituição parcial do cimento por materiais pozolânicos (10CCANC e 10SANC) apresentaram maiores valores para carga de ruptura, ao comparado com o traço referência (REFNC). Assim como na resistência à compressão, a viga com a cinza de casca de arroz (10CCANC) apresentou resistência superior tanto ao traço referência quando ao traço com substituição do cimento por 10% de sílica (10SANC). Ao tratar-se das vigas submetidas ao método CAIM, é possível observar uma redução da capacidade de carga destas vigas em comparação com as vigas mantidas em condições ambiente.

Dentre as vigas submetidas à corrosão, a pior situação de resistência foi a da viga referência (REFC), que obteve uma redução de resistência na ordem de 46,35%, para sílica ativa (10SAC) a redução foi de 24,43%, enquanto para a viga com cinza de casca de arroz (10CCAC) a redução foi de 3,30%. Desta forma é possível perceber um melhor desempenho da viga com substituição do cimento por cinza de casca de arroz.

O melhor desempenho desta viga (10CCAC), é dado pela menor perda de massa das barras que compõe a armadura, certificando que o material apresenta características favoráveis a resistência à corrosão. Com base na Tabela 3, é possível observar uma redução na capacidade de deformação, aliada a menores resistências das vigas submetidas ao método CAIM. Percebe-se, conforme o esperado, uma maior deformação aliada ao maior suporte de carga, nas vigas não submetidas ao processo de corrosão, este mesmo comportamento foi analisado por Cabrera (2014).

Este fato pode ser decorrência da corrosão provocada nas armaduras, tornando as vigas mais frágeis. Para as vigas com substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz, pode-se perceber um aumento na deformação da viga submetida à corrosão para a viga não submetida ao processo. Acredita-se que o fato ocorreu pela maior resistência à corrosão desta viga.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

A incorporação de sílica ativa e cinza de casca de arroz ao concreto proporcionou melhorias tanto na resistência mecânica quanto no comportamento frente à deterioração das vigas de concreto armado. Observou-se que ambas as adições atuam de forma eficiente na mitigação de processos corrosivos, configurando-se como alternativas tecnicamente viáveis para o aumento da durabilidade. Destaca-se que o traço com substituição de 10% de cinza de casca de arroz apresentou o melhor desempenho global, indicando maior potencial de durabilidade.

O método empregado para indução da corrosão mostrou-se eficaz, uma vez que foi capaz de promover a degradação das vigas de concreto armado, evidenciada pela corrosão das armaduras e pela consequente perda de massa das barras de aço.

Por meio do ensaio de resistência à tração na flexão, verificou-se que as vigas com adição de materiais pozolânicos apresentaram melhor desempenho mecânico, além de um modo de ruptura semelhante ao das vigas não submetidas ao processo de corrosão. Em contrapartida, a viga sem a incorporação desses materiais apresentou resistência significativamente inferior em comparação às demais cinco vigas, além de ruptura por cisalhamento, característica associada à falha nos estribos que compõem a armadura.

Nesse contexto, os resultados indicam que a corrosão exerceu influência direta na redução da capacidade resistente dessa viga, ao mesmo tempo em que evidenciam que a utilização de materiais pozolânicos — especialmente a cinza de casca de arroz — contribui para o aumento da resistência ao processo corrosivo e, consequentemente, para a melhoria do desempenho estrutural.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 201: **guide to durable concrete.** ACI manual of concrete practice, Detroit, 1992, part 1, 39p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2026.

_____. NBR 15575-1: **Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1**: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2025.

_____. NBR 16889: **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

_____. NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2025.

_____. NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 12142: **Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 12653: **Materiais pozolânicos** – Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

BATTISTI, F. **Recuperação de vigas em concreto armado utilizando polímero reforçado com fibras de carbono.** Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado, 2017.

BERTON, J. G. **Avaliação de propriedades relativas à durabilidade de concretos produzidos com agentes de cura interna submetidos à ação de cloretos.** (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 2022.

CABRERA, L. S. **Vigas de concreto armado submetidas à corrosão acelerada:** avaliação do comportamento mecânico de argamassa de reparo com diferentes materiais pozolânicos. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2014.

CABRAL, E. B. **Avaliação da eficiência de sistemas de reparo no combate a iniciação e a propagação da corrosão do aço induzida por cloretos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2000.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. CEB 183: **durable concrete structures. Bulletin d' Information, Suecis**, n. 183, may 1992, 112p.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. CEB 238: **new approach to durability design: an example for carbonation induced corrosion. Bulletin d' Information, Suecis**, n. 238, may 1997, 138p.

CLIFTON, J. R. **Predicting the Service Life of Concrete**. ACI Materials Journal, 1993.

GRAEFF, Â. G. **Avaliação experimental e modelagem dos efeitos estruturais da propagação da corrosão em elementos de concreto armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 2007.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armadura para concreto armado.** São Paulo: PINI, 1986.

LIMA, M. G. **Ação do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto.** In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

NEVILLE, A. **Consideration of durability of concrete structures: past, present and future**. Material and Structures, volume 34, mar. 2001.

MOTA, J.M.F; BARBOSA, F.R; COSTA E SILVA, A.J. **Corrosão de Armadura em Estruturas de Concreto Armado devido ao Ataque de Íons Cloreto**. In: 54° CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Anais IBRACON, Maceió, 2012.

NEVILLE, A. M. **Consideration of durability of concrete structures: past, present and future**. Revisit Material and Structures, Volume 34, mar. 2001.

REGINATO, L. A. **Avaliação experimental dos efeitos da corrosão em concreto armado: diagnóstico e reabilitação com UHPFRC e concreto têxtil.** Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre, 2020.

RIGHI, D. P. **Caracterização do comportamento de compósitos cimentícios de elevada capacidade de deformação com a utilização de fibra de polipropileno e cinza de casca de arroz**. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre, 2015.

RODRIGUES, W. B. **Influência da resistividade elétrica na migração de cloretos em concretos com diferentes tipos de cimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFCAT, Catalão, 2023.

SANTOS, M. **Deterioração das estruturas de concreto armado – estudo de caso.** Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2012.

SOARES, A.; VASCONCELOS, L.; NASCIMENTO, F. **Corrosão em armaduras de concreto. Cadernos de graduação – Ciências exatas e Tecnologias**. Maceió, 2015.

STEIN, J. K. **Avaliação experimental de ciclos de carregamento em vigas corroídas de concreto armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

TORRES, A. **Avaliação da sensibilidade do ensaio CAIM- Corrosão Acelerada por Imersão Modificada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 2006.

ZHANG, Y.; YANG, Z.; YE, G. **Dependence of unsaturated chloride diffusion on the pore structure in cementitious materials**. Cement and Concrete Research, v. 127, p. 105919, 2020.

CAPÍTULO 14 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/thq4ya57
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/kg7hc567

ALTAS ESPESSURAS DE REVESTIMENTO EM ARGAMASSA E SEUS IMPACTOS NO DESEMPENHO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL: UM ESTUDO DE CASO

Juliana Dias, Yonh Lucca Souza

[1] TA DIAGNÓSTICA, Universidade ou Instituição, Salvador, Brasil
[2] TA DIAGNÓSTICA, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil

RESUMO

Edificações construídas anteriormente à consolidação das normas técnicas brasileiras de desempenho frequentemente apresentam soluções construtivas que não atendem aos requisitos atuais de segurança, durabilidade e habitabilidade. Este artigo apresenta um estudo de caso desenvolvido durante a fiscalização técnica de uma obra de reabilitação de fachada em uma edificação comercial de 24 pavimentos, localizada na Região Metropolitana de Salvador, onde foram identificadas espessuras de argamassa superiores a 15 cm, ausência total de chapisco, baixo teor de ligante e execução inadequada do lançamento da cheia — falhas sistêmicas que atuaram de forma sinérgica para comprometer o desempenho do sistema desde sua concepção, resultando em retração generalizada, pulverulência, separação entre camadas e desprendimento do revestimento com risco direto à segurança de usuários e transeuntes. O trabalho demonstra que o quadro patológico permanecia oculto em sua real extensão, revelado apenas por diagnóstico técnico aprofundado. Os ensaios de resistência de aderência à tração realizados pela Concrelab confirmaram valores muito abaixo do mínimo normativo de 0,30 MPa estabelecido pela ABNT NBR 13749 (2013). A metodologia de intervenção adotada contemplou remoção integral do revestimento, recomposição com argamassa aditivada e execução em concordância com a normativa técnica vigente. Demonstra-se que uma intervenção correta, sustentada por diagnóstico aprofundado e decisão profissional estratégica, suprime o ciclo de manutenções recorrentes e representa o único caminho que oferece garantias reais de desempenho e durabilidade ao sistema de vedação vertical ao longo do ciclo de vida da edificação.
Palavras-chave: argamassa; fachadas; espessuras; patologias; desempenho.

ABSTRACT

Buildings constructed prior to the consolidation of Brazilian technical performance standards frequently present constructive solutions that fail to meet current requirements for safety, durability, and habitability. This article presents a case study developed during the technical supervision of a façade rehabilitation project in a 24-story commercial building located in the Metropolitan Region of Salvador, where mortar render thicknesses exceeding 15 cm were identified, along with the total absence of a bonding layer, low binder content, and improper mortar application technique — systemic failures that acted synergistically to compromise the performance of the render system from its conception, resulting in generalized shrinkage cracking, powdering, inter-layer separation, and render detachment posing direct safety risks to occupants and pedestrians. The study demonstrates that the full extent of the pathological condition remained concealed, being revealed only through in-depth technical diagnosis. Pull-off adhesion tests conducted by Concrelab confirmed values well below the minimum normative threshold of 0.30 MPa established by ABNT NBR 13749 (2013). The intervention methodology adopted comprised complete removal of the existing render, reinstatement with admixture-enhanced mortar, and execution in compliance with current technical standards. The study provides technical substantiation that a properly executed intervention — grounded in thorough diagnosis and strategic professional decision-making — eliminates the cycle of recurring maintenance and represents the only approach capable of offering real guarantees of performance and durability to the vertical enclosure system throughout the building's service life.
Keywords: mortar render; façades; thickness; pathologies; building performance.

1. INTRODUÇÃO

O parque edificado brasileiro é composto, em grande parte, por edificações construídas em períodos anteriores à consolidação de normas técnicas específicas voltadas ao desempenho, à durabilidade e à segurança dos sistemas construtivos. Durante décadas, a execução de revestimentos externos em argamassa ocorreu de forma predominantemente empírica, baseada em práticas tradicionais de obra e em soluções corretivas adotadas em campo para compensar desvios geométricos do sistema de vedação vertical. Carasek (2010) destaca que a argamassa de revestimento foi historicamente utilizada não apenas como elemento de proteção e acabamento, mas também como recurso para regularização de irregularidades geométricas do substrato, prática que, na ausência de critérios normativos claros, resultou com frequência na aplicação de camadas com espessuras muito superiores às tecnicamente adequadas.

Thomaz (1989) aponta que grande parte das manifestações patológicas observadas em fachadas brasileiras tem origem em falhas de execução cujas consequências somente se tornam visíveis anos ou décadas após a conclusão da obra. Nesse contexto, obras de reabilitação de fachadas tornam-se fundamentais para a adequação dessas edificações aos requisitos técnicos contemporâneos. Entretanto, como observa Lichtenstein (1986), tais intervenções frequentemente revelam patologias ocultas identificáveis apenas por meio de investigação técnica aprofundada.

É nesse cenário que se insere o presente estudo de caso, desenvolvido a partir da fiscalização técnica de uma obra de reabilitação de fachada em uma edificação comercial de 24 pavimentos localizada na Região Metropolitana de Salvador, inaugurada em 1992 e inserida em zona de agressividade ambiental forte com influência da salinidade marítima. Durante a remoção controlada do revestimento existente, foram identificadas espessuras de argamassa superiores a 15 cm, valor significativamente acima do limite máximo de 30 mm estabelecido pela ABNT NBR 13749 (2013), além de ausência total de chapisco, baixo teor de ligante e execução inadequada do lançamento da cheia. O trabalho analisa os impactos dessas condições no desempenho do sistema de vedação vertical e discute a metodologia de intervenção adotada à luz dos requisitos normativos vigentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

As primeiras iniciativas de normatização nacional aplicáveis aos revestimentos em argamassa ocorreram a partir do final da década de 1990, com a publicação da ABNT NBR 13749:1996 e da ABNT NBR 7200:1998. Essas normas apresentavam abordagem predominantemente voltada aos procedimentos executivos, com limitada ênfase em aspectos de desempenho e durabilidade. Versões revisadas subsequentes passaram a incorporar critérios mais estruturados, culminando na atualização da ABNT NBR 13281 em 2023, que modernizou os requisitos e critérios de avaliação para argamassas inorgânicas de revestimento.

No contexto das fachadas, os revestimentos argamassados constituem parte integrante do Sistema de Vedação Vertical (SVV), desempenhando funções essenciais de proteção da alvenaria contra agentes atmosféricos, regularização geométrica do substrato e suporte para camadas de acabamento. A espessura do revestimento assume papel relevante no comportamento mecânico e na durabilidade do conjunto: espessuras excessivas aumentam as tensões internas decorrentes de retração, variações térmicas e deformações diferenciais, favorecendo o surgimento de fissuração, destacamento e perda de aderência (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995). Pesquisa recente conduzida por Pires et al. (2025), com base em 955 ensaios de tração em 17 edificações, constatou

que 97,5% das amostras apresentavam espessuras acima do limite normativo e que 62% registravam resistência de aderência inferior a 0,30 MPa, evidenciando a relevância sistêmica do problema.

A aderência entre o revestimento e o substrato ocorre predominantemente por intertravamento mecânico, resultante da penetração da pasta cimentícia nos poros da base — mecanismo que depende diretamente da qualidade do preparo da superfície e da forma de aplicação da argamassa (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Manawadu, Qiao e Wen (2023) revisaram a literatura internacional sobre caracterização de interfaces substrato-revestimento em reparos de concreto e reforçam que a preparação inadequada da superfície é fator determinante na redução da resistência de aderência, independentemente da qualidade intrínseca do material de recobrimento. No âmbito nacional, Silva, Carasek e Cascudo (2023) demonstraram que sistemas de argamassa mais industrializados tendem a apresentar maiores valores de aderência e menor dispersão de resultados, o que reforça a importância da padronização dos materiais e do controle tecnológico nas intervenções de reabilitação.

3. METODOLOGIA

O estudo de caso foi realizado em edificação comercial localizada na Região Metropolitana de Salvador, inaugurada em 1992, com 24 pavimentos tipo e sete pavimentos de garagem, totalizando aproximadamente 95 m de altura. O sistema estrutural é em concreto armado, e o sistema de vedação vertical é composto predominantemente por alvenaria cerâmica revestida com argamassa, associada em determinados trechos a elementos de pele de vidro. A área investigada abrange aproximadamente 500 m², distribuídos nas duas fachadas principais.

A investigação técnica foi motivada por obra de reabilitação inicialmente prevista para contemplar apenas reparos pontuais nas regiões com manifestações patológicas visíveis. Durante as primeiras intervenções de abertura do revestimento, contudo, foram constatadas espessuras significativamente elevadas, o que motivou a ampliação do escopo de diagnóstico. Os procedimentos adotados incluíram inspeção visual sistemática das fachadas, ensaios percussivos para identificação de regiões com perda de aderência, abertura de janelas de inspeção com remoção controlada do revestimento (Figura 1), ensaios de aderência à tração (Tabela 1), extração de testemunhos e análise visual e tátil das amostras coletadas. Os resultados foram analisados com base nas diretrizes da ABNT NBR 7200, ABNT NBR 13749, ABNT NBR 13281 e ABNT NBR 13755.

A análise dos dados revelou espessuras máximas da ordem de 15 cm, sendo que aproximadamente 95% da área investigada apresentou espessuras superiores a 8 cm, conforme aferido nas janelas de inspeção abertas (Figura 1). Não foram identificados registros documentais de intervenções anteriores, não podendo ser confirmado se o sistema originalmente previsto passou por qualquer tipo de intervenção posterior.

Tabela 1 – Parte 1 - Resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração (Concrelab)

Corpo de Prova	Carga (N)	Área (mm²)	Tensão (MPa)
P1	100	1963,5	0,051
P2	112	1963,5	0,057
P3	101	1963,5	0,051

Tabela 1 – Parte 2 - Resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração (Concrelab)

Corpo de Prova	Carga (N)	Área (mm²)	Tensão (MPa)
P4	39	1963,5	0,020
P5	83	1963,5	0,042
P6	91	1963,5	0,046
P7	30	1963,5	0,015
P8	72	1963,5	0,037
P9	23	1963,5	0,012
P10	50	1963,5	0,025
P11	18	1963,5	0,009
P12	96	1963,5	0,049

Nota: Valor mínimo normativo para revestimento externo = 0,30 MPa (ABNT NBR 13749:2013). Todos os corpos de prova apresentaram resistência inferior ao limite mínimo.

Fonte: Concrelab

Figura 1 – Janela de inspeção com medição da espessura do revestimento (aproximadamente 10 cm no ponto aferido)



Fonte: Os autores

4. FALHAS CONSTRUTIVAS IDENTIFICADAS

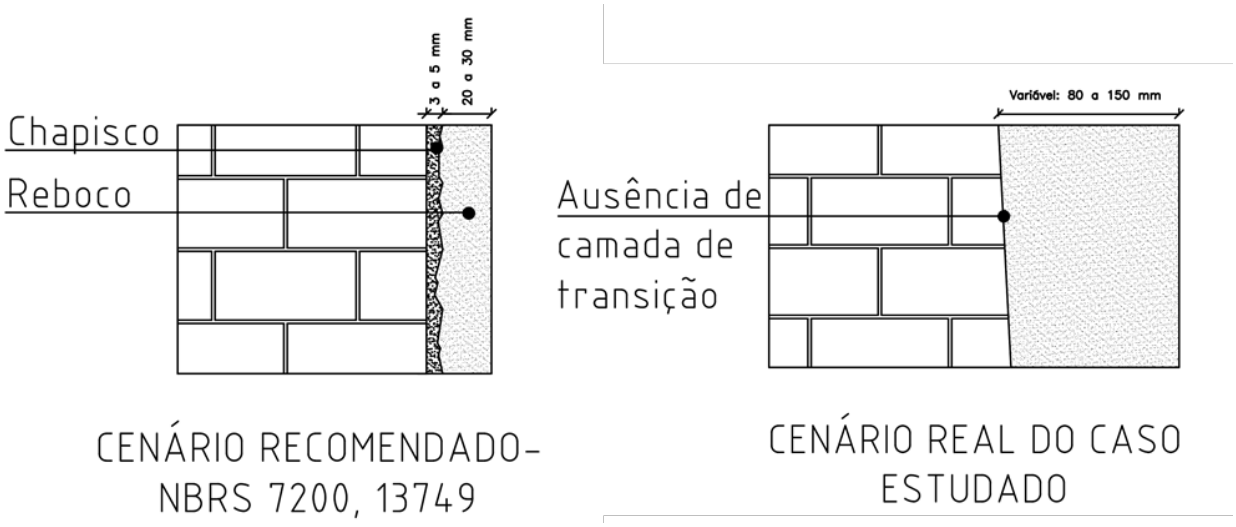
4.1. Ausência de chapisco e deficiência na ponte de aderência.

Durante a remoção do revestimento, foi identificada a ausência total do chapisco na interface entre o substrato de alvenaria cerâmica e a camada de argamassa. A constatação foi evidenciada pela exposição de superfícies de bloco cerâmico completamente limpas, sem qualquer vestígio de material de preparo. O chapisco é definido pela literatura técnica como camada de preparo de espessura reduzida, geralmente entre 5 e 10 mm, cuja função é aumentar a rugosidade superficial da base e criar condições favoráveis ao intertravamento mecânico com as camadas subsequentes (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995). A NBR 7200 (ABNT, 1998) prescreve a execução do chapisco como etapa obrigatória em substratos que não apresentem rugosidade e porosidade suficientes, condição que se enquadra precisamente nos blocos cerâmicos de face lisa identificados na edificação. A ausência dessa camada resultou em interface de aderência praticamente nula, condição que Helene (1992) associa a valores de resistência de aderência muito abaixo dos limites mínimos normativos — confirmada pelos resultados da Tabela 1.

4.2. Espessura Excessiva e Acúmulo de Camadas

As espessuras identificadas — superiores a 15 cm em diversos pontos, conforme documentado nas janelas de inspeção (Figura 1) — evidenciam o uso do revestimento como elemento de correção geométrica significativa da alvenaria, prática que resulta na aplicação de grandes volumes de argamassa em camadas sucessivas. A análise dos testemunhos extraídos revelou a presença de interfaces internas entre camadas, com diferentes características de textura, coloração e compactação, indicando execução em etapas distintas. Segundo a NBR 13749 (ABNT, 2013), o intervalo aceitável para revestimentos externos em fachadas situa-se entre 20 mm e 30 mm. O excesso de espessura amplifica as tensões de retração por secagem, aumenta os esforços permanentes de cisalhamento sobre a interface de aderência pelo incremento do peso próprio da camada e introduz gradientes hídricos que favorecem a retração diferencial ao longo da seção do revestimento (NEVILLE, 2016). A Figura 2 ilustra esquematicamente a comparação entre o cenário recomendado e o verificado na edificação estudada.

Figura 2 – Cenário recomendado versus caso abordado



Fonte: Os autores

Figura 2 – Camadas de revestimento durante a remoção



Fonte: Os autores

4.3. Baixo teor de ligante e lançamento inadequado da cheia

A análise visual e tátil das amostras coletadas indicou a utilização de argamassa com proporção excessiva de agregado miúdo em relação ao aglomerante — condição caracterizada na literatura técnica como argamassa com baixo teor de ligante. A insuficiência de pasta de cimento compromete a coesão interna da mistura, resulta em maior porosidade após o endurecimento e reduz a formação de produtos hidratados coesivos responsáveis pela resistência e durabilidade do material endurecido (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Essa avaliação foi corroborada pela elevada pulverulência superficial verificada nas amostras, característica macroscópica associada ao empobrecimento da camada em pasta de cimento. Ressalta-se que não foi realizado ensaio de reconstituição de traço, razão pela qual a descrição se fundamenta nas evidências visuais e táteis observadas em campo, aliadas aos baixíssimos valores de resistência de aderência registrados (Tabela 1). A ABNT NBR 13281 (2023) determina que as misturas devem apresentar proporções adequadas entre seus componentes para garantir resistência mecânica, aderência e durabilidade compatíveis com as solicitações previstas.

Adicionalmente, a execução inadequada do lançamento da cheia — com baixa energia de impacto no momento da aplicação — comprometeu a penetração da pasta cimentícia nos poros do substrato, reduzindo o intertravamento mecânico necessário ao desenvolvimento de resistência de aderência adequada. Cincotto, Silva e Carasek (1995) demonstram que variações na técnica de lançamento podem resultar em diferenças de até 50% nos valores de resistência de aderência à tração medidos em diferentes pontos de um mesmo painel.

5. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ASSOCIADAS

O conjunto de falhas executivas identificadas resultou em um encadeamento sistêmico de manifestações patológicas que se desenvolveram de forma progressiva e interdependente ao longo da vida útil da edificação.

A retração da argamassa constitui a primeira e mais diretamente associada ao excesso de espessura. Em revestimentos com volumes excessivos de material, as deformações associadas à

retração por secagem são amplificadas, gerando tensões internas de tração que, quando superiores à resistência do material, resultam em fissuração de padrão mapeado — configuração reticulada observada sistematicamente nas fachadas inspecionadas (CARASEK, 2010). A retração diferencial entre camadas aplicadas sem o adequado controle de intervalos de cura cria ainda planos de incompatibilidade interna que evoluem para zonas preferenciais de propagação de fissuras (THOMAZ, 1989).

A pulverulência manifesta-se pela perda progressiva de coesão superficial da argamassa, resultante do empobrecimento da camada externa em pasta de cimento aglomerante. Em revestimentos de alta espessura, o maior gradiente hídrico entre a interface com o substrato e a face exposta ao ar acelera o processo de exsudação interna, intensificando o empobrecimento progressivo da superfície. Em estágio mais avançado, a pulverulência evolui para a separação progressiva de camadas — com o desenvolvimento de planos internos de fraqueza paralelos à superfície, promovendo deslocamento das camadas sem perda imediata de aderência ao substrato — até o destacamento efetivo do revestimento em alguns pontos (HELENE, 1992).

O desprendimento constitui a manifestação de maior gravidade, representando o estágio terminal do processo de degradação. O modo de ruptura observado — com superfícies de bloco cerâmico completamente limpas após a remoção — confirma que a falha ocorreu predominantemente na interface direta entre o revestimento e o substrato, em modo adesivo, caracterizando resistência de aderência efetiva praticamente nula, como confirmado pelos ensaios da Tabela 1. A combinação entre peso próprio da camada espessa, tensões residuais de retração, ciclos térmicos e hídricos e pressão hidrostática da água infiltrada através das fissuras superou definitivamente a resistência de aderência residual disponível, precipitando o colapso local do sistema e gerando risco concreto de acidentes em edificação de 24 pavimentos (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

6. A IMPORTÂNCIA DO DIAGNÓSTICO TÉCNICO APROFUNDADO

6.1. O Diagnóstico como Etapa Fundamental da Intervenção

A definição de uma metodologia de intervenção tecnicamente adequada em edificações existentes pressupõe, necessariamente, a realização de um diagnóstico preciso e abrangente das condições do sistema construtivo a ser tratado. Helene (1992) já apontava que o processo de recuperação de estruturas e fachadas deve seguir uma sequência lógica e indissociável: vistoria, diagnóstico, prognóstico e, somente então, a prescrição da intervenção. A supressão ou a superficialidade de qualquer uma dessas etapas compromete a coerência técnica de toda a cadeia subsequente, resultando em intervenções mal dimensionadas, subestimadas em escopo ou simplesmente ineficazes diante da real extensão e natureza dos danos.

Nesse sentido, Lichtenstein (1986) distingue com clareza o diagnóstico superficial — baseado exclusivamente na observação das manifestações visíveis — do diagnóstico aprofundado, que busca identificar as causas primárias do processo patológico, sua extensão real e os mecanismos de degradação em curso. Segundo o autor, a intervenção orientada apenas pelas manifestações aparentes tende a tratar sintomas sem eliminar causas, resultando inevitavelmente na reincidência das patologias em prazo mais curto do que o observado no sistema original.

6.2. Ferramentas e Procedimentos para um Diagnóstico Aprofundado

Carasek (2010) destaca que, para a correta caracterização de revestimentos de fachada, a inspeção visual deve ser sistematicamente complementada por ensaios de percussão, para

identificação de regiões com perda de aderência ou formação de bolsões, e por ensaios de aderência à tração, que permitem quantificar a resistência de aderência do sistema e compará-la com os valores mínimos estabelecidos pela ABNT NBR 13749 (2013). No presente estudo, foram realizados 12 ensaios de aderência à tração, executados pela Concrelab conforme a ABNT NBR 13528-2 (2019), cujos resultados são apresentados na Tabela 1. Nenhum dos 12 corpos de prova atingiu o valor mínimo normativo de 0,30 MPa, com tensões variando entre 0,009 MPa e 0,057 MPa — confirmando, de forma inequívoca, a condição de aderência praticamente nula do sistema.

De especial relevância é a realização de aberturas de janelas de inspeção no revestimento — procedimento que consiste na remoção controlada de porções do revestimento em locais estrategicamente selecionados com o objetivo de expor as camadas constituintes do sistema e permitir sua caracterização direta. Thomaz (1989) enfatiza que a abertura de janelas de inspeção é insubstituível para a verificação de aspectos que não podem ser inferidos a partir da superfície do revestimento, como a espessura real das camadas, a presença ou ausência do chapisco, a qualidade da interface substrato-revestimento e a eventual existência de camadas sobrepostas resultantes de aplicações sucessivas. A Figura 1 registra uma das janelas de inspeção abertas durante a investigação, com medição direta da espessura do revestimento.

6.3. As Consequências do Diagnóstico Deficiente no Caso Estudado

O estudo de caso aqui documentado ilustra de forma concreta os riscos associados à adoção de um diagnóstico superficial como base para a definição do escopo de uma intervenção em fachadas. Previamente ao início da fiscalização técnica descrita neste trabalho, a edificação havia sido objeto de inspeção e laudo técnico elaborado por outra empresa, cujas conclusões embasaram o escopo inicial da obra de reabilitação. Entretanto, a análise do referido documento revelou que o diagnóstico produzido limitou-se à identificação das manifestações patológicas visíveis na superfície do revestimento — destacamentos localizados, fissuras e manchas de umidade — sem que fossem realizadas aberturas de janelas de inspeção, ensaios de aderência à tração ou qualquer outro procedimento destinado à caracterização das camadas internas do sistema.

Como consequência direta dessa abordagem superficial, o laudo anterior não identificou a condição mais determinante para o comportamento patológico do revestimento: as espessuras excessivas da camada de argamassa, que atingiram valores superiores a 15 cm em diversas regiões da fachada, superando em mais de cinco vezes o limite máximo de 30 mm estabelecido pela ABNT NBR 13749 (2013). Da mesma forma, não foram identificados pelo laudo anterior a ausência do chapisco na interface substrato-revestimento, o baixo teor de ligante da argamassa aplicada ou a existência de múltiplas camadas sobrepostas com interfaces internas de baixa coesão.

6.4. O Risco da Intervenção Baseada em Diagnóstico Incompleto

Segundo Bauer (1994), intervenções realizadas com base em diagnósticos insuficientes representam não apenas um desperdício de recursos, mas um fator ativo de agravamento das condições da edificação, na medida em que a recomposição parcial de revestimentos sobre um substrato com falhas executivas não corrigidas introduz novas interfaces de aderência em um sistema já comprometido. Esse mecanismo é especialmente crítico quando a espessura excessiva do revestimento existente não é identificada no diagnóstico: ao recompor o revestimento sem remover o material inadequado subjacente, adiciona-se nova camada sobre uma base de comportamento mecânico deficiente, perpetuando — e potencialmente amplificando — os esforços que originaram a degradação.

No contexto do estudo de caso apresentado, a realização de uma intervenção pautada exclusivamente nas recomendações do laudo superficial previamente elaborado resultaria, com elevado grau de certeza técnica, na reincidência das manifestações patológicas em prazo significativamente mais curto — situação que Helene (1992) denomina como "patologia de segunda geração", caracterizada pela recorrência do processo patológico com maior velocidade de progressão em função da deterioração acumulada dos substratos e interfaces preexistentes.

7. METODOLOGIAS DE CORREÇÃO E ATENUAÇÃO DAS PATOLOGIAS

7.1 Princípios Gerais da Intervenção Corretiva

A definição de uma metodologia de intervenção tecnicamente adequada em sistemas de revestimento argamassado patologicamente comprometidos exige, como premissa fundamental, que as ações corretivas sejam direcionadas às causas primárias do processo de degradação e não apenas às suas manifestações superficiais. Helene (1992) estabelece que toda intervenção em fachadas deve contemplar, de forma integrada, a remoção do sistema comprometido, o preparo criterioso do substrato e a recomposição das camadas com materiais e técnicas compatíveis com os requisitos normativos vigentes.

No contexto do presente estudo de caso, no qual foram identificadas falhas executivas primárias de natureza múltipla e sistêmica — ausência de chapisco, baixo teor de ligante, espessuras excessivas e lançamento inadequado da cheia —, a metodologia de intervenção em execução contempla: (i) remoção integral do revestimento comprometido com martelete rompedor, seguida de martelete rotativo para preservação da alvenaria; (ii) regularização da superfície com argamassa traço 1:5 (cimento: areia fina); (iii) aplicação de chapisco projetado com aditivo acrílico Murafan 39 na proporção 1:3 (cimento: areia fina); (iv) recomposição do revestimento com argamassa traço 1:3 (cimento: areia média) em camada única de aproximadamente 4 cm, com instalação de tela galvanizada sempre que a espessura ultrapassar esse valor ou nos encontros entre elementos construtivos distintos. Duas estratégias técnicas específicas assumem relevância especial no controle do desempenho do novo sistema: a utilização de telas de reforço e o emprego criterioso de aditivos.

7.2 Telas de reforço em revestimentos argamassados

A incorporação de telas de reforço no interior das camadas de revestimento argamassado constitui uma das estratégias técnicas mais consolidadas para o controle da fissuração e para a melhoria do desempenho mecânico de sistemas aplicados em condições de maior demanda estrutural. Do ponto de vista físico, a tela atua como elemento de reforço distribuído que absorve parte das tensões de tração geradas pela retração da argamassa, pelas variações térmicas e pelas deformações diferenciais entre o revestimento e o substrato, redistribuindo esses esforços ao longo de uma área maior e reduzindo a probabilidade de abertura de fissuras de extensão e abertura significativas (THOMAZ, 1989).

Carasek (2010) identifica as situações nas quais a utilização de telas de reforço é tecnicamente recomendada: execução de revestimentos sobre substratos heterogêneos, com diferentes coeficientes de dilatação térmica; aplicação em espessuras superiores às convencionais; revestimentos sobre bases de baixa estabilidade dimensional; e recomposições sobre sistemas existentes parcialmente degradados. No presente estudo, a tela galvanizada foi especificada nos encontros entre alvenaria e estrutura de concreto (largura de 50 cm, com 25 cm sobre cada componente) e entre alvenaria e pilares (largura de 40 cm), além de sua adoção sempre que a espessura do revestimento ultrapassar 6 cm no campo corrente da alvenaria. Thomaz (1989) esclarece que a tela deve ser posicionada preferencialmente no terço médio da espessura total do

revestimento, garantindo seu total envolvimento pela argamassa. Nas sobreposições entre painéis de tela, recomenda-se recobrimento mínimo de 10 cm.

7.3 Aditivos para Argamassas de Revestimento

Os aditivos para argamassas são definidos pela NBR 11768 (ABNT, 2019) como produtos adicionados em pequenas quantidades à mistura, com o objetivo de modificar suas propriedades no estado fresco ou endurecido. No presente estudo, a argamassa de chapisco foi aditivada com adesivo acrílico Murafan 39, que confere maior aderência à base, melhora a trabalhabilidade e reduz a perda de água para o substrato. Os aditivos poliméricos, de modo geral, formam uma rede contínua que interpenetra a matriz cimentícia, conferindo ao revestimento maior capacidade de deformação elástica e melhor retenção de água durante a aplicação — aspecto particularmente relevante em fachadas expostas ao sol e ao vento nas condições climáticas da Região Metropolitana de Salvador (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

Complementarmente, aditivos plastificantes reduzem a relação água/cimento necessária para atingir a consistência desejada, resultando em menor porosidade, maior resistência mecânica e menor retração por secagem (NEVILLE, 2016). Aditivos incorporadores de ar introduzem microporos que funcionam como câmaras de alívio de pressão, reduzindo a amplitude das variações dimensionais do revestimento e, consequentemente, sua suscetibilidade à fissuração (MEHTA; MONTEIRO, 2014). A seleção criteriosa do tipo e dosagem de aditivo deve sempre ser fundamentada nas características específicas do substrato, nas condições ambientais de exposição e nos requisitos de desempenho do sistema.

7.4 Integração das Estratégias Corretivas

A análise das estratégias de intervenção descritas evidencia que a correção efetiva das patologias identificadas exige a integração criteriosa de múltiplos recursos em um sistema de revestimento coerente e tecnicamente fundamentado. Helene (1992) estabelece que a durabilidade de um sistema de revestimento recuperado depende da compatibilidade entre todos os seus componentes — substrato preparado, chapisco aditivado, argamassa de emboço com teor de ligante adequado, eventualmente reforçada com tela, e acabamento — e que a introdução de qualquer elemento incompatível com os demais pode comprometer o desempenho do conjunto mesmo que cada componente individualmente atenda aos requisitos normativos.

8. Conclusão

O estudo de caso documentado neste trabalho demonstra, de forma concreta, as consequências de um encadeamento de falhas executivas sistêmicas — ausência de chapisco, espessuras excessivas, baixo teor de ligante e lançamento inadequado da cheia — que atuaram de forma sinérgica para comprometer o desempenho do sistema de revestimento desde sua concepção. Os ensaios de resistência de aderência à tração, realizados pela Concrelab em 12 corpos de prova conforme a ABNT NBR 13528-2 (2019), registraram valores entre 0,009 MPa e 0,057 MPa — todos muito abaixo do mínimo normativo de 0,30 MPa —, confirmando a total ineficácia adesiva do sistema existente.

A análise evidencia ainda que o diagnóstico técnico aprofundado — com abertura de janelas de inspeção e ensaios específicos de campo e laboratório — é condição indispensável para a correta identificação das causas primárias da degradação e para o dimensionamento adequado do escopo de intervenção, como demonstrado pelo contraste entre o laudo superficial anterior e o diagnóstico realizado durante a fiscalização.

Do ponto de vista econômico, a intervenção integral, embora de maior custo imediato, encerra o ciclo de manutenções recorrentes e representa o único caminho que oferece garantias reais de desempenho e durabilidade ao longo do ciclo de vida da edificação. Lichtenstein (1986) e Helene (1992) demonstram que o custo de intervenção cresce de forma não linear com o avanço da degradação, evidenciando que o adiamento de intervenções tecnicamente corretas em favor de reparos paliativos resulta invariavelmente em custos totais maiores. A adoção da intervenção integral na edificação estudada — com remoção integral do revestimento, execução de chapisco com aditivo acrílico, argamassa aditivada e tela galvanizada nos pontos críticos —, em camada total de 6 cm, visa restabelecer ao sistema as condições técnicas necessárias para o cumprimento de sua vida útil, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013).

Por fim, reforça-se que cada edificação constitui um caso singular, cujas condições específicas determinam, de forma particular, a metodologia de intervenção mais adequada. Carasek (2010) alerta que a transposição acrítica de soluções padronizadas é uma das principais causas de reincidência de patologias em obras de recuperação. A decisão técnica sobre o escopo e a metodologia de intervenção deve sempre ser fundamentada em diagnóstico aprofundado e conduzida por profissionais habilitados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-2**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas — Determinação da resistência de aderência à tração — Parte 2: Aderência ao substrato. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755**: Revestimentos cerâmicos de fachadas e varandas com utilização de argamassa colante — Projeto, execução, inspeção e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BAUER, E. **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: SINDUSCON-DF, 1994.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: IPT, 1995. (Boletim Técnico, 68).

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**. 1986. Dissertação (Mestrado) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

MANAWADU, A.; QIAO, P.; WEN, H. **Characterization of substrate-to-overlay interface bond in concrete repairs: a review. Construction and Building Materials**, v. 373, n. 130828, mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130828.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini/IPT/EPUSP, 1989.

PIRES, L. A. da S.; SOUZA, J. S. de; SILVA, A. F. F. da; NASCIMENTO, M. L. M. **Influência da espessura na resistência de aderência de revestimentos de argamassa.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 15., 2025. Anais... Disponível em: https://doi.org/10.46421/sbta.v15.6842.

SILVA, D. C.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. **Análise comparativa da resistência de aderência à tração de diferentes sistemas de argamassa.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 14., 2023. Anais... Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbta/article/view/4740.

CAPÍTULO 15 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/nnb1bp29
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/hhe9yh44

PROPOSIÇÃO DE MÉTODO PARA ENSAIO EM CAMPO DE ESTANQUEIDADE EM FACHADAS DE PAINÉIS DE CONCRETO PRÉ-FABRICADOS

Cristian Mateus Mossmann[1]*; Vinicius de Kayser Ortolan[2]; Felipe Schneider[3]; Bernardo Tutikian[4].
*Autor de contato: cristianmmossmann62@gmail.com

[1] Graduação em engenharia civil, Feevale, Novo Hamburgo/RS, Brasil
[2] Graduação em engenharia civil, Feevale, Novo Hamburgo/RS, Brasil
[3] Programa de pós-graduação em engenharia civil, Unisinos, São Leopoldo/RS, Brasil
[4] Programa de pós-graduação em engenharia civil, Unisinos, São Leopoldo/RS, Brasil

RESUMO

O artigo propõe um método experimental para ensaio em campo de estanqueidade à água em fachadas constituídas por painéis de concreto pré-fabricados, diante da carência de procedimentos simplificados para avaliação in loco desse sistema. A metodologia foi desenvolvida a partir da adaptação da NBR 10821-7 e do Anexo C da NBR 15575-4, com a fabricação de um equipamento portátil de aspersão capaz de manter vazão de 20 L/min, pressão controlada de até 2,40 kgf/cm² e distância padronizada de aplicação. Os ensaios foram realizados em uma fachada-teste subdividida em cinco áreas, avaliando juntas seladas com polímero híbrido MS40 e, em uma segunda etapa, uma solução com fita de espuma adesiva associada ao selante. Os resultados indicaram que o método foi capaz de detectar de forma sensível falhas de estanqueidade em condições de campo. De modo geral, o estudo conclui que o procedimento proposto é tecnicamente viável para inspeção em campo, confirma a eficiência do selante MS40 quando corretamente aplicado e demonstra a utilidade do método para diagnóstico e validação de reparos em fachadas de painéis pré-fabricados.
Palavras-chave: estanqueidade; painéis de concreto pré-fabricado; fachada.

ABSTRACT

This study proposes an experimental method for on site water tightness testing of façades composed of precast concrete wall panels, addressing the lack of simplified field procedures for assessing the in-service performance of this building system. The method was developed by adapting the criteria of ABNT NBR 10821-7 and Annex C of ABNT NBR 15575-4, and included the fabrication of a portable spraying device capable of maintaining controlled test parameters, with a constant pressure of 2.40 kgf/cm², a flow rate of 20 L/min, and a fixed application distance. The experimental program was carried out on a test façade divided into five areas and comprised two

stages for the assessment of joint sealing performance. In the first stage, joints sealed with a hybrid elastic MS polymer sealant (MS40) showed satisfactory water tightness. In the second stage, the method was also able to detect loss of water tightness associated with sealant discontinuity in the joint region. Overall, the results demonstrate that the proposed procedure is technically feasible, sensitive to leakage occurrence, and suitable for diagnosing defects and validating corrective interventions in precast concrete panel façades.
Keywords: water tightness; precast concrete wall panels; façades.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira, nas últimas décadas, vem passando por um processo de transformação significativo, impulsionado pela busca constante por maior eficiência, qualidade e racionalização dos processos construtivos. Nesse cenário, o uso do concreto pré-fabricado tem ganhado força principalmente após a década de 1970, como uma alternativa viável e amplamente vantajosa devido à sua agilidade de execução e ao rigoroso controle de qualidade, além de contribuir de forma expressiva para a redução dos impactos ambientais associados às atividades da construção civil (Bastos, 2023). Contudo, apesar do crescimento exponencial na utilização desse sistema construtivo, ainda existem desafios inerentes ao seu comportamento em serviço, a exemplo da estanqueidade das vedações verticais, que constitui um requisito de desempenho importante para assegurar a habitabilidade e a vida útil das estruturas. O tratamento adequado das juntas de painéis de parede de concreto pré-fabricado exige atenção especial, diante da crescente adoção desses elementos nos últimos anos (ABDI, 2015). A necessidade de cuidado técnico torna-se ainda maior em obras expostas a condições climáticas adversas, como chuvas intensas e elevada umidade ambiental (Ribeiro, 2006). Entre os fatores que influenciam diretamente a eficiência da vedação, destacam-se a escolha correta do material selante, a forma adequada de aplicação e o rigoroso preparo das superfícies, configurando-se como um ponto crítico que necessita de estudos específicos e de soluções metodológicas aplicáveis (Medeiros; Helene, 2009).

O objetivo geral deste estudo consiste em propor um método experimental para o ensaio de infiltração de água em fachadas compostas por painéis de parede de concreto pré-fabricado. Para alcançar tal finalidade, delinearam-se os seguintes objetivos específicos: elaborar o equipamento necessário para a execução controlada do ensaio de infiltração de água em campo; validar o método de ensaio proposto diretamente em fachadas de painéis de parede de concreto pré-fabricado; analisar a eficiência da estanqueidade das juntas de vedação utilizando a metodologia desenvolvida; avaliar a estanqueidade de um painel que apresenta como manifestação patológica uma fissura vertical, testando-a após o respectivo tratamento corretivo; e, por fim, validar os procedimentos de manutenção de fissuras passivas com o intuito de restabelecer e manter a estanqueidade global da fachada.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O sistema construtivo com painéis de parede de concreto pré-fabricado é caracterizado por ser composto basicamente por três elementos principais: o próprio painel de concreto, os dispositivos mecânicos de ligação e fixação, e as juntas de vedação. A execução adequada e compatibilizada desses três componentes é a variável fundamental para o desempenho adequado desse sistema de vedação vertical (Oliveira, 2002). Com foco na otimização dos processos construtivos e na redução substancial de custos operacionais, Silva (2009) destaca que a adoção de sistemas pré-fabricados deve ser rigorosamente planejada desde a concepção inicial do projeto arquitetônico e estrutural, a fim de potencializar os benefícios econômicos ao longo de toda a vida útil da obra. Adicionalmente, os elementos constituintes do sistema devem ser projetados e

executados em estrita conformidade com as exigências de durabilidade e segurança estabelecidas pelas normas técnicas vigentes, com destaque para a NBR 9062 (ABNT, 2017), NBR 6118 (ABNT, 2026) e NBR 16475 (ABNT, 2017), e, em caso de a edificação possuir uso habitacional, a NBR 15574-5 (ABNT, 2021), especialmente no que se refere ao requisito de estanqueidade à água. A correta e integral aplicação desses requisitos normativos é considerada indispensável para garantir o desempenho térmico e acústico, a segurança estrutural e a durabilidade sistêmica das estruturas (ABNT, 2023). Sob a ótica da viabilidade econômica, o uso de elementos pré-fabricados se torna altamente atrativo na construção civil impulsionado pelo fator de repetição de peças, que atua reduzindo os custos unitários de produção e montagem. A despeito da visão de que os painéis pré-fabricados limitam a liberdade arquitetônica da edificação, Van Acker (2002) considera que o sistema construtivo pré-fabricado permite considerável versatilidade plástica e flexibilidade de projeto.

Para compreender as particularidades desse sistema, é necessário observar a classificação estipulada pela NBR 16475 (ABNT, 2017), que define quatro critérios distintos para a categorização dos painéis de parede de concreto pré-fabricado: a conformação da seção transversal, a finalidade de utilização, o padrão de acabamento superficial das peças e a função estrutural atribuída ao elemento. Quanto à seção transversal, os painéis podem ser classificados nos seguintes tipos: maciços, alveolares, nervurados, tipo sanduíche, reticulado misto e de parede dupla (ABNT, 2017). A disponibilidade de diferentes seções transversais permite aos projetistas a escolha da tipologia arquitetônica mais adequada para cada empreendimento, ponderando aspectos técnicos como o desempenho estrutural frente aos esforços solicitantes, o nível de isolamento térmico exigido, a facilidade logística de execução e a economia de materiais. O entendimento profundo das particularidades de cada uma dessas tipologias é considerado essencial para assegurar a máxima eficiência e a qualidade construtiva das edificações em que os painéis são empregados (Medeiros, 2017). No que tange à função de uso, a NBR 16475 (ABNT, 2017) classifica os painéis em residenciais, comerciais e industriais. As edificações que possuem até cinco pavimentos e que utilizam painéis de parede com função estrutural são classicamente categorizadas como residenciais, desde que respeitem limites geométricos e de carga, tais como o emprego de lajes com menor vão livre não superior a 4 metros, uma sobrecarga máxima de 3 kN/m² e um pé-direito máximo fixado em 3 metros. Quanto ao padrão de acabamento, a superfície dos painéis pode ser classificada em bruta ou arquitetônica (ABNT, 2017). O painel do tipo bruto caracteriza-se por necessitar, após a fase de montagem, da aplicação de acabamentos complementares em obra, tais como pintura, emassamento com gesso ou revestimento em argamassa. Segundo Medeiros (2017), esse modelo de painel é usualmente empregado em obras onde se prevê uma elevada personalização posterior dos ambientes internos e externos. Por outro lado, o painel do tipo arquitetônico já é desmoldado na fábrica com o acabamento final incorporado à sua face, dispensando etapas de revestimento subsequentes.

A junção entre diferentes painéis dá origem às juntas de vedação, regiões críticas no que tange à estanqueidade do sistema, necessitando de tratamento eficaz para manter a estanqueidade do ambiente construído e evitar a propagação de tensões e danos resultantes das movimentações dinâmicas dos elementos (Bastos, 2023). Conforme aponta Oliveira (2002), o posicionamento estratégico das juntas interfere de modo direto na eficácia global da vedação, na facilidade operacional de aplicação dos produtos selantes e na capacidade mecânica de absorção de movimentações diferenciais. Devido ao natural envelhecimento dos materiais poliméricos, Van Acker (2002) adverte que o material selante aplicado nas juntas requer revisões periódicas, o que obriga que as juntas sejam projetadas em locais que permitam acesso facilitado para a execução de serviços futuros de manutenção e de eventuais reparos. Dependendo da concepção arquitetônica, as juntas podem ser do tipo abertas ou fechadas, podendo empregar sistemas de sobreposição de bordas ou elementos suplementares de drenagem para garantir a proteção contra a água da chuva

(Temoche-Esquivel et al., 2006). Quando tratadas para atuarem como juntas fechadas, utiliza-se classicamente a aplicação de selantes de base polimérica (sendo comum a utilização de formulações de silicone, sistemas em poliuretano ou polímeros híbridos tipo silano modificado), materiais que devem obrigatoriamente resultar em níveis elevados de aderência às superfícies confinantes da junta e capacidade de acomodação elástica das deformações térmicas e estruturais impostas ao sistema (Molinar, 2021). A impermeabilidade da edificação diante das intempéries depende drasticamente da integridade e da vida útil desses selantes aplicados nas interfaces do concreto pré-fabricado (Van Acker, 2002).

Para mitigar a vulnerabilidade das juntas, o projetista deve dimensioná-las com formatos e volumes estritamente compatíveis com as propriedades reológicas do selante (Ribeiro; Barros, 2010). Os selantes dividem-se macroscopicamente em produtos elastoplásticos e selantes elásticos (Ribeiro, 2006). O fator de forma da junta, que expressa a razão geométrica entre a largura da junta e a profundidade de aplicação do selante, deve ser rigorosamente respeitado, adotando-se, na ausência de especificações mais restritivas do fabricante, proporções de 1:1 a 1:2 para a maioria dos selantes, e recomendações específicas de 2:1 a 1:1 limitadas a profundidades máximas de 20 mm para elastômeros convencionais, conforme normatiza a NBR 13755 (ABNT, 2017) e reforçam Beltrame e Loh (2009). Bastos (2023) também reitera que, visando ampliar a durabilidade frente à degradação acelerada pela radiação ultravioleta, a aplicação do material deve prever um recuo físico dentro da cavidade da junta, garantindo uma camada adicional de proteção mecânica contra o vento e a incidência solar direta.

As propriedades físico-químicas exigidas dos selantes incluem adesão e coesão de alto desempenho, além de adequação de módulo de elasticidade, dureza e robustez contra o envelhecimento ambiental (Molinar, 2021; Ribeiro; Barros, 2010). A adesão é a competência do polímero em manter-se tenazmente fixado ao substrato mineral, sem falhas de contato ou descolamentos locais, fato que demanda uma superfície meticulosamente limpa e isenta de agentes contaminantes (Siqueira, 2014; Ferme; Oliveira, 2003; Medeiros, 2017). A coesão assegura que a matriz do material permaneça monolítica, livre de rupturas internas. O módulo de elasticidade deve ser sempre substancialmente inferior à rigidez do concreto contíguo, a fim de evitar que as tensões transferidas pelo selante induzam à fratura da borda do painel (Ribeiro; Barros, 2010). A norma internacional ISO 11600 (2002) classifica os selantes quanto ao módulo em baixo (inferior a 0,4 MPa) ou alto (igual ou superior a 0,4 MPa). Outro parâmetro importante é a dureza, mensurado na escala Shore A. Fachadas dinâmicas com intensa variação térmica beneficiam-se de selantes mais macios e deformáveis, situados nas faixas de baixo a médio módulo, variando entre 10 e 35 Shore A (Beltrame; Loh, 2009; Oliveira, 2002; Ribeiro; Barros, 2010). Ensaios como os estipulados na ASTM C792 (2008) e ASTM C793 (2005) são utilizados para aferir a resistência ao intemperismo induzido (Siqueira, 2014; Ribeiro; Barros, 2010). Dentre as diversas bases químicas disponíveis no mercado, os polímeros híbridos MS (silano modificado) têm sido recorrentemente apontados na literatura técnica recente como opções superiores para as fachadas de concreto pré-fabricado, devido à sua excelente capacidade de acomodação de tensões, elevada vida útil e extrema versatilidade aplicativa em diferentes climas (Bastos, 2023; Beltrame; Loh, 2009; Ribeiro, 2010). No entanto, o sucesso dessa aplicação demanda substrato seco, temperaturas moderadas no momento da aplicação e um processo contínuo de prensagem para eliminar aprisionamentos de ar na matriz do cordão de vedação (Binkowski, 2019; Ribeiro, 2006; Molinar, 2021).

Sob a ótica do desempenho do SVVIE, a NBR 15575-4 (ABNT, 2021) estipula que a vedação vertical não pode admitir infiltrações que evoluam para o borrifamento, escorrimento ou franca formação de gotas de água transpassantes para a face interna da edificação, embora tolere pontuais e restritas manchas de umidade que não impactem o desempenho funcional do ambiente. As fachadas de pré-fabricados, por conterem juntas de vedação, são inerentemente mais suscetíveis à falha do que alvenarias cegas e monolíticas (Bastos, 2023). A NBR 16475 (ABNT, 2017) reforça

que as condições dessas juntas devem satisfazer a já referida NBR 15575-4 (ABNT, 2021). Contudo, pesquisas como a de Kruger (2000) atestam que, havendo tratamento profissional com polímeros adequados, os pré-fabricados apresentam alto índice de confiabilidade e estanqueidade. Na avaliação laboratorial, a NBR 15575-4 (ABNT, 2021) prevê o emprego de câmaras estanques fixadas sobre a área de teste, aplicando-se pressão e jatos de água contínuos (Sathler, 2018; Franco, 2019). Devido à complexidade logística de se instalar as pesadas câmaras de pressão exigidas no Anexo C dessa norma em áreas extensas de fachadas prontas, torna-se coerente a adoção adaptada de métodos alternativos baseados na NBR 10821-7 (ABNT, 2022), voltada para ensaios de infiltração em fachadas-cortinas e claraboias por meio de aspersão balizada, que permite pulverizar água uniformemente sobre extensas regiões da obra para varrer todas as interfaces críticas de junção.

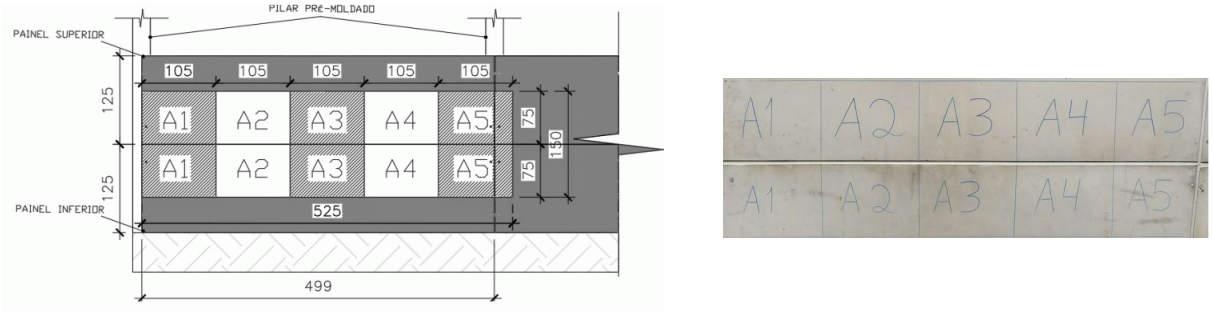
Outro fator que pode afetar negativamente a estanqueidade da vedação vertical é a existência de manifestações patológicas no concreto, como fissuras. Essas aberturas podem, além de afetar a estética do sistema construtivo, facilitaro acesso de umidade ao interior da edificação (Bolina; Tutikian; Helene, 2019; Sahade, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados painéis de parede de concreto pré-fabricado do tipo maciços, com destinação de uso classificada como industrial/arquitetônica (dispensando revestimentos posteriores) e isentos de função estrutural (apenas vedação), conforme normatiza a NBR 16475 (ABNT, 2017). A fixação dos elementos junto aos pilares, previamente montados, deu-se por meio de chumbadores mecânicos expansivos em aço zincado (tipo parabolt PBA 1/2”x7”). O selamento das juntas foi garantido pela aplicação manual de um elastômero tecnológico correspondente ao selante elástico híbrido MS (silano modificado) polímero, do tipo MS40, caracterizado por apresentar dureza entre 35 e 45 Shore A, resistência à tração de 1,2 N/mm², módulo de elasticidade superior a 0,5 MPa, densidade entre 1,51 e 1,59 g/cm³ e capacidade de deformação reversível de até 20%. Em um dos ensaios, utilizou-se concomitantemente uma fita de espuma adesiva com 6 mm de espessura e 12 mm de largura, baseada em borracha de etileno acetato de vinila (EVA) associada a adesivo acrílico em uma de suas faces. Para os procedimentos pontuais de reparo patológico do concreto, valeu-se de uma argamassa de reparo estrutural industrializada à base de cimento Portland e aditivos especiais, com densidade fresca de 1,9 g/cm³ e resistência mecânica à compressão de 34 MPa aos 28 dias, sucedida por uma argamassa de acabamento de traço volumétrico 1:1:3 (cimento CP IV-32, cal hidratada CH-III e agregado miúdo lavado).

Devido à ausência de procedimentos normativos simplificados para o teste prático in loco dessas vedações, o método de ensaio foi desenvolvido adaptando-se as orientações da NBR 10821-7 (ABNT, 2022), norma voltada especificamente para fachadas-cortina, e da métrica de área descrita no Anexo C da NBR 15575-4 (ABNT, 2021). A fachada montada como corpo de prova contava com dimensões totais na área de ensaio de 5,25 metros de comprimento horizontal por 1,50 metros de altura vertical, compreendendo uma superfície total ensaiada de 7,88 m². Essa matriz foi subdividida de modo organizado em cinco áreas operacionais menores, referenciadas como A1, A2, A3, A4 e A5.

Figura 1 – Segmentação das áreas analisadas no corpo de prova



(a) (b)

Fonte: Os autores.

Cada uma dessas subáreas apresentava a modulação geométrica de 1,05 metro de largura por 1,50 metro de altura, atendendo simultaneamente à exigência de área mínima e à restrição de lances de esguicho contínuos não superiores a 1,50 m, facilitando a retenção e o impacto da lâmina d'água gerada. Tais áreas englobavam de forma representativa cruzamentos críticos como as extensões contínuas das juntas verticais e horizontais tratadas, a própria face bruta de absorção dos painéis superior e inferior, e os pontos exatos de ancoragem com os chumbadores expansivos.

Para a indução hídrica sob pressão controlada, fabricou-se um equipamento de aspersão portátil, de concepção tubular reta, contendo um esguicho aspersor industrial regulável de alta pressão instalado na extremidade de aplicação, configurado para trabalhar com um ângulo restrito de pulverização de 90° e promover uma vazão d'água estabilizada em 20 L/min. Com o propósito de mitigar erros operacionais e oscilações do feixe hídrico resultantes do pulso do operador, acoplou-se paralelamente ao corpo do aspersor um gabarito físico distanciador confeccionado em fio de protensão de aço CP 175 RB E de 4 mm, mantendo o esguicho em uma distância perpendicular cravada em exatos 305 ± 25 mm da face externa do concreto, balizando a aspersão de forma idêntica e repetitiva àquela preconizada na NBR 10821-7 (ABNT, 2022). O arranjo tubular foi suprido de água através de uma mangueira flexível de alta resistência mecânica de 3/4" de diâmetro interno (resistente até 70 kgf/cm²). Entre a mangueira e o esguicho, alocaram-se uma válvula mecânica redutora de pressão em aço inoxidável e um manômetro analógico aferido de 1/4" com escala para até 10 kgf/cm². Esse sistema valvulado foi perfeitamente calibrado em laboratório de campo para suportar e trabalhar em um regime hidráulico estritamente estável situado entre 2,05 kgf/cm² e 2,40 kgf/cm², assegurando que os volumes e a energia cinética dos impactos atendessem rigorosamente aos critérios normativos e não introduzissem viés nas leituras das áreas adjacentes.

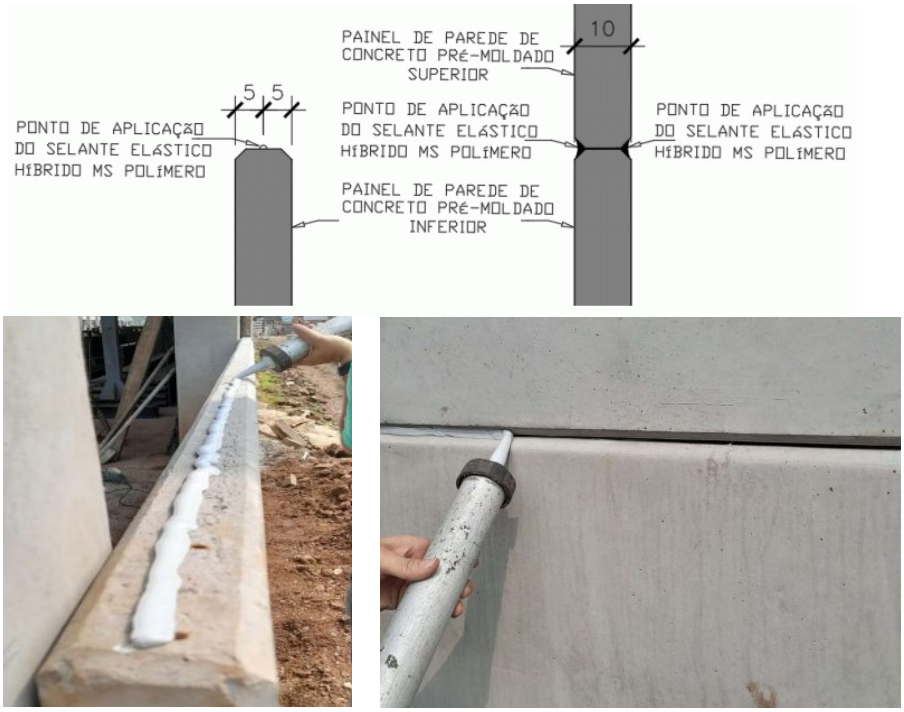
Tabela 1 – Descrição dos componentes do equipamento

Componente	Descrição
Esguicho regulável de alta pressão	Bico com ângulo de abertura de 90°, vazão ajustada para 20 L/min
Gabarito metálico de distanciamento	Fio de protensão CP 175 RB 4 mm, comprimento total de 305 mm a partir da extremidade do esguicho. Gabarito utilizado para padronizar a distância entre extremidade do esguicho e o corpo de prova ensaiado
Manômetro analógico	Vertical, rosca de 1/4", capacidade de até 10 kgf/cm². Foi calibrado em 2,40 kgf/cm²
Válvula redutora de pressão	Aço inoxidável, rosca 3/4", faixa de ajuste entre 1 a 10 kgf/cm²
Mangueira de alta pressão	Diâmetro interno de 3/4". Pressão limite de 70 kgf/cm²

Fonte: Elaborada pelos autores.

A etapa executiva dividiu-se em dois experimentos principais de estanqueidade. O primeiro ensaio englobou a montagem completa dos dois grandes painéis sobre suportes no solo, seguidos do tratamento das juntas horizontal e vertical exclusivamente através da injeção contínua do selante elástico MS40 polímero (Figura 2).

Figura 2 - Tratamento de juntas com selante elástico híbrido MS polímero

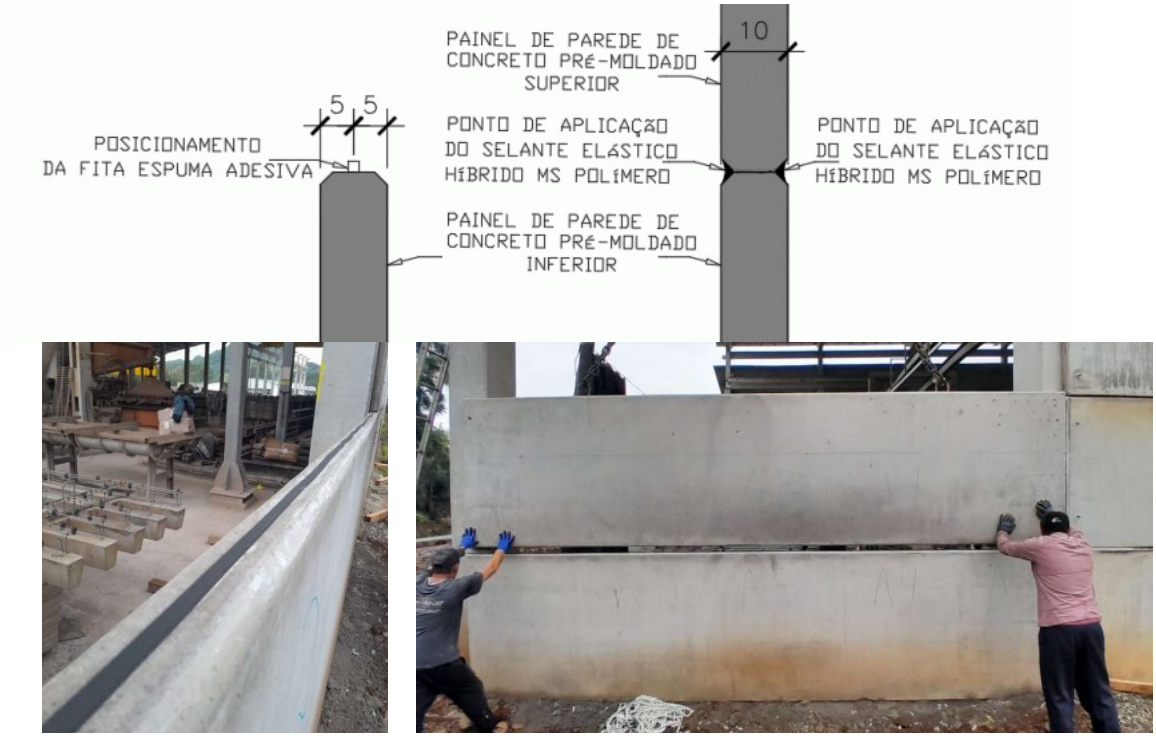


Fonte: Os autores.

Previamente à colagem, realizou-se a higienização física rigorosa do topo dos perfis com escovação seca e posterior remoção de pó. Observando o fator geométrico normativo para elastômeros, o polímero foi depositado ocupando um limite visual de 30 mm de largura por 15 mm de profundidade (fator de forma 2:1), espatulado à perfeição contra ambas as faces para extinguir bolsões de ar, seguido da fixação paramentada do bloco superior. O ensaio de aspersão ativada durou longos 5 minutos cravados em cada uma das fatias (A1 a A5), promovendo-se movimentos pendulares mecânicos e contínuos de varredura vertical e horizontal com o dispositivo. Concluído esse primeiro teste, identificou-se uma fissura passiva preexistente na área de concreto A3. A mesma foi tratada tecnicamente via escarificação (1,5 cm de profundidade por 5 cm de largura) e saturação aquosa, e preenchida com a argamassa de reparo estrutural em multicamadas, sendo exposta a novo ensaio pontual de estanqueidade.

O segundo ciclo metodológico consistiu na desmontagem total do painel superior, procedendo-se a raspagem das faces para a extração minuciosa dos vestígios da calafetação inicial. Uma vez limpas as frentes, instalou-se na linha média longitudinal dos 10 cm de espessura de topo do elemento basal uma fita de espuma adesiva conformadora em toda a sua extensão horizontal (5,25m) (Figura 3). Reposicionado e fixado o gigantesco painel de encabeçamento, reinjetou-se o selante MS40 contornando externamente as empenas da junta recém formatada, submetendo o conjunto integral (áreas A1 até A5) a uma nova e última rodada cronometrada de 5 minutos de estresse hídrico percussivo repetindo toda a sistemática anterior.

Figura 3 - Tratamento das juntas fita espuma adesiva e selante elástico híbrido MS polímero

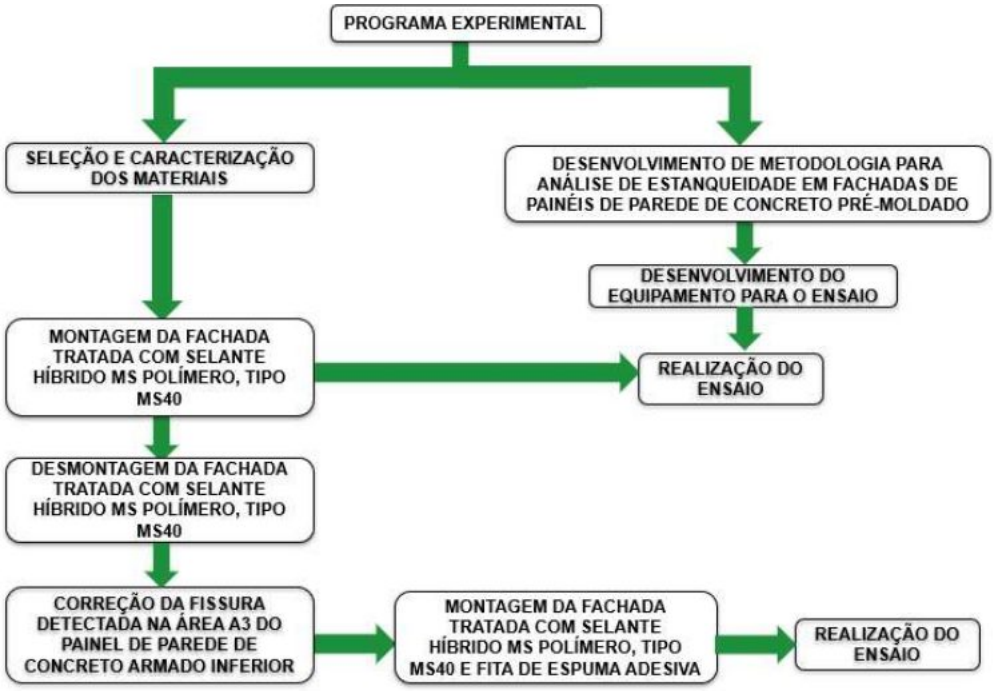


Fonte: Os autores.

O registro dos resultados ocorreu qualitativamente após os ensaios, visando catalogar qualquer formação de manchas umedecidas, trânsitos hídricos francos ou infiltração capilar generalizada nas faces internas.

A Figura 4 sintetiza as etapas do programa experimental proposto.

Figura 4 – Programa experimental



Fonte: Elaborada pelos autores.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No primeiro ensaio, submetendo a configuração de isolamento simples (compreendida apenas pela junção maciça com o selante elástico híbrido MS40 polímero no tardoz interno e externo de todas as juntas tratadas) os resultados observados validaram a eficácia do elastômero. Observou-se que as áreas ensaiadas A1, A2, A4 e A5 mantiveram-se estanques, sem apresentar qualquer indício de passagem de água, indicando que nessas regiões, o selante foi eficaz na vedação das juntas, assim como os orifícios das fixações com chumbadores PBA 1/2"x7" mostraram-se impermeáveis. Tais manifestações positivas vão ao encontro da fundamentação exposta por Bastos (2023) e Molinar (2021) e ratificam as propriedades teóricas de alta coesão e capacidade elástica duradoura do MS40, apontado por Beltrame e Loh (2009).

Em contrapartida, a área A3 apresentou falha na estanqueidade, com infiltração de água identificada na face interna do painel inferior, onde se observou uma mancha de umidade com formato vertical alongado (Figura 5).

Figura 5 – Painéis de vedação após a execução do primeiro ensaio



Fonte: Registrada pelos autores.

Após inspeção visual, verificou-se que a origem da infiltração estava relacionada a uma fissura vertical de 0,5 mm de abertura em ambas as faces do painel, que se estendia ao longo de toda altura painel. Essa fissura comprometeu a vedação da fachada, atuando como ponto de passagem para a água, evidenciando que a presença de fissuras impacta negativamente o desempenho de estanqueidade da fachada.

Após identificar a perda de estanqueidade através da fissura supracitada, procedeu-se à recuperação indicada por Helene e Pereira (2005). Executando o escareamento, lavagem e o adensamento manual com argamassa de reparo cimentícia especializada (34 MPa aos 28 dias), notou-se, em nova aspersão confinada e localizada diretamente sobre a região A3 corrigida, não houve mais infiltração através do SVVIE. Não surgiram novas manchas na zona onde a fissura foi corrigida.

Ao iniciar a segunda etapa experimental, observou-se que as seções espaciais compreendidas pelas áreas A1, A2, A4 e A5 repetiram o padrão de total impermeabilidade. Contraditoriamente, a área central A3 desta vez apresentou falha em sua estanqueidade, a despeito do prévio reparo bem-sucedido na placa adjacente. A análise pós-ensaio revelou que a falha teve origem em uma deficiência na vedação no selante elástico híbrido MS40 polímero, visível tanto na face externa quanto na interna do painel (Figura 6). Essa falha comprometeu a vedação, permitindo a passagem de água através da junta horizontal.

Figura 6 – Painéis de vedação após a execução do segundo ensaio



Fonte: Registrada pelos autores.

Constatou-se que a ruptura ocorreu devido ao processo de escarificação realizado anteriormente para reparo da fissura vertical existente nessa região, o que afetou a integridade do selante elástico híbrido MS polímero.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo propor um método experimental para ensaios de infiltração de água em fachadas, em campo, com painéis de parede de concreto pré-fabricado, com base na NBR 10821-7 (ABNT, 2022) e no Anexo C da NBR 15575-4 (ABNT, 2021), bem como avaliar sua eficácia através de uma aplicação em dois contextos de vedação entre painéis. Para isso, foi desenvolvido um equipamento específico, capaz de manter estabilidade nos parâmetros de ensaio, com pressão constante de 2,40 kgf/cm², vazão de 20 L/min e distância controlada, assegurando a confiabilidade dos resultados.

Os ensaios foram realizados em duas etapas e permitiram avaliar o desempenho de diferentes soluções de vedação nas juntas entre os painéis. Os resultados sugerem que o método proposto é tecnicamente viável, sensível à ocorrência de falhas e eficaz na detecção de infiltrações em condições reais de obra.

Os resultados confirmam a eficiência do selante elástico híbrido MS40 quando aplicado corretamente. Em contrapartida, a falha observada na área A3, no segundo ensaio, evidenciou a limitação da fita de espuma adesiva quando utilizada isoladamente, indicando que essa vedação pode não ser suficiente para garantir a estanqueidade da fachada. O reparo da fissura com argamassa de reparo estrutural foi validado no segundo ensaio, sem registro de infiltração na região tratada, o que demonstra a viabilidade dessa solução para correções localizadas em fachadas pré-fabricadas. Além disso, os pontos de fixação com chumbadores mecânicos expansivos nas áreas A1 e A5 não apresentaram falhas em nenhum dos ensaios, indicando que o sistema de ancoragem adotado é compatível com os requisitos de estanqueidade.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). Manual da Construção Industrializada. Volume 1. Brasília: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9062: **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10821-7: **Esquadrias para edificações – Parte 7: Método de estanqueidade à água em esquadrias externas instaladas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13755: **Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante — Projeto, execução, inspeção e aceitação — Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575-1: **Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575-4: **Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE**. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16475: **Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM C792: **Standard Test Method for Effects of Heat Aging on Weight Loss, Cracking, and Chalking of Elastomeric Sealants**. West Conshohocken: ASTM International, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM C793: **Standard Test Method for Effects of Laboratory Accelerated Weathering on Elastomeric Joint Sealants**. West Conshohocken: ASTM International, 2005.

BASTOS, J. M. A. P. S. **Análise da Viabilidade do emprego de fachadas pré-fabricadas em edifícios em Portugal**. 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto, 2023.

BELTRAME, F. R.; LOH, K. **Aplicação de selantes juntas de movimentação de fachadas – Boas práticas**. In: Habitare. Porto Alegre, 2009.

BINKOWSKI, I. S. **Estudo de caso: Execução de sistema de fechamento vertical com placas de concreto pré-fabricadas**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

FERME, L. F. G.; OLIVEIRA, P. S. F. **Selantes – a escolha correta garante durabilidade**. In: XII Simpósio Brasileiro de Impermeabilização. São Paulo, 2003.

FERNANDES, L. H. A. **Fissuras, trincas e rachaduras em prédios da UFERSA Campus Angicos – Estudo de Caso**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2022.

FREITAS, H. S. **Análise numérica de painéis pré-moldados de fechamento em edificações de pequena altura**. 2012. Dissertação. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

HELENE, P. R. L.; PEREIRA, F. **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Red Rehabilitar, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 11600: **Construção civil — Selantes — Classificação e requisitos para selantes**. Genebra: ISO, 2002.

KOGA, D. S.; SANTOS, L. M.; NUNES, W. C. **Bioconcreto – Autocicatrização do concreto pelo processo de biomineralização realizado por bactérias**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020.

KRUGER, P. V. **Análise de Painéis de Vedação nas edificações em estrutura metálica**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

LOURENSINI, L. **Desenvolvimento de painel pré-fabricado em concreto armado para vedação, com núcleo composto por material para isolamento térmico**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2017.

MEDEIROS, W.; HELENE, P. R. L. **Patologia em fachadas de edifícios. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. Belo Horizonte, 2009.

MEDEIROS, W. **Painel de parede dupla pré-moldado: Análise crítica das indicações na NBR 16475-2017**. In: 1° Workshop de tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos, 2017.

MOLINAR, P. **Estudo de selantes das juntas de movimentação de fachadas com revestimentos cerâmicos**. 2018. Dissertação. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de Concreto para Emprego em Fachadas de Edifícios**. 2002. Tese. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. **Guia técnico de concreto pré-moldado arquitetônico: detalhes e especificações guia**. 3. ed. Chicago: PCI, 2004.

PFEIL, W. **Concreto Protendido – Processos Construtivos, Perdas de Protensão, Sistemas Estruturais**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009.

RIBEIRO, F. A. **Especificação de juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios: Levantamento do estado da arte**. 2006. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

RIBEIRO, F. A.; BARROS, M. M. S. B. **Juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini Ltda, 2010.

SAHADE, R. F. **Avaliação de sistemas de recuperação de fissuras em alvenaria de vedação**. 2005. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SAKAI, R. A. **Patologias em alvenarias de vedação: Estudo de caso em uma residência na cidade de Curitiba**. 2017. Especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SATHLER, L. M. **Avaliação do desempenho quanto à estanqueidade à água de sistemas verticais de vedação externa (SVV2) de paredes de blocos cerâmicos**. 2018. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

SENA, G. O.; NASCIMENTO, M. L. M.; NETO, A. C. N. **Patologia das construções**. Salvador: Editora 2B, 2020.

SILVA, J. **Versáteis, painéis conquistam mercado**. Revista Finestra, São Paulo, 2009.

SIQUEIRA, P. H. P. **Execução de fachada em cerâmica: estudo de caso**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

TEMOCHE-ESQUIVEL, J. F.; TOMAZETTI, R. R.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Painéis pré-fabricados de concreto em fachadas de edifícios: inovação tecnológica consolidada?** In: I Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, 2006.

VAN ACKER, A. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Bagneux: Fédération Internationale du Béton, 2002.

CAPÍTULO 16 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/yt9xsp19
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/rv7gvn28

COMPLEMENTAÇÃO DE DIAGNÓSTICO PÓS SINISTRO COM USO DE REALIDADE VIRTUAL

Felipe Petersen[1], Fernanda Pacheco[2]*; Sérgio Klippel Filho[2]; Hinoel Zamis Ehrenbring[2]
*Autor de contato: fernandapache@unisinos.br
[1] Pós graduação em Patologia e perícia das construções, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil
[2] Instituto tecnológico em desempenho e construção civil, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

RESUMO

O uso de realidade virtual/aumentada (RV/RA) cresce na construção civil, no entanto, no âmbito das seguradoras a aplicação em vistorias pós sinistros prediais ainda é limitada. Ciente desta lacuna, algumas empresas têm investigado a aplicação de tecnologias imersivas para conferir celeridade e assertividade aos diagnósticos de sinistros. A vistoria, etapa inicial e crucial, demanda a identificação e registro de todos os danos com a máxima precisão exequível. Nesse contexto, a RV/RA oferece grande valor, reproduzindo em ambientes virtuais locais analisados, sem a necessidade de acesso físico ao local, uma vez que a cena do sinistro pode não estar preservada como inicialmente. A pesquisa tem como objetivo analisar o impacto e a eficácia da RV/RA, na complementação do diagnóstico pós sinistro, identificando as principais vantagens operacionais e econômicas paras as empresas seguradoras, bem como potenciais lacunas e desafios de sua implementação.
Palavras-chave: patologia das edificações, inspeção, tecnologia.

ABSTRACT

The use of virtual/augmented reality (VR/AR) is growing in the construction industry; however, its application in post-loss building inspections is still limited within the insurance sector. Aware of this gap, some companies have been investigating the application of immersive technologies to provide speed and accuracy to claim diagnoses. The inspection, an initial and crucial step, demands the identification and recording of all damages with the highest possible precision. In this context, VR/AR offers great value, reproducing analyzed locations in virtual environments without the need for physical access to the site, since the scene of the accident may not be preserved as initially. This research aims to analyze the impact and effectiveness of VR/AR in complementing post-loss diagnosis, identifying the main operational and economic advantages for insurance companies, as well as potential gaps and challenges in its implementation.
Keywords: building pathology, inspection, technology

1. INTRODUÇÃO

A vistoria em um evento de sinistro é determinante para os corretos registros do local danificado, e para que posteriormente as intervenções possam ser realizadas com segurança. (FERRARI, 2023) Tradicionalmente se utiliza câmera fotográfica e anotações para levantamento de quantitativos, isto pois, apesar da relevância socioeconômica da indústria da construção, o setor ainda é caracterizado por uma baixa taxa de adoção tecnológica (CUELLAR et al., 2023)

Um dos problemas enfrentado no processo de vistoria tradicional de sinistros está relacionado ao deslocamento, que exige tempo e muitas vezes custos elevados, assim a precisão do processo de vistoria se torna um elemento essencial, no entanto, muitas vezes apesar da experiência, surgem discussões relacionadas a pontos que durante a vistoria não se revelaram cruciais.

O uso de tecnologias de realidade virtual e realidade aumentada pode subsidiar tomadas de decisão, facilitar acesso a projetos, auxiliar no entendimento de edificações, entre outros usos. (FREITAS; RUSCHEL, 2010). Entender e reconhecer os benefícios que equipamentos de RV/RA aplicados em vistorias focadas em sinistros podem trazer como resultado é muito importante, para eficácia da inspeção e confiabilidade dos dados. Einizinab et al (2023) apresentam uma série de tecnologias, destacando a viabilidade de uso de cada uma, e demonstrando os potenciais da coleta de informações e o uso de vistorias assistidas remotamente.

Tradicionalmente, os processos de inspeção e monitoramento dependem de coleta manual de dados, que se mostra demorada, custosa e propensa a erros, dificultando a identificação rápida e de problemas e a otimização de operações (MOLAEI et al., 2023). Nesse contexto, a necessidade de representações digitais precisas e atualizadas é crescente, especialmente em áreas críticas como infraestrutura e gestão de ativos, visando a precisão e a automação (SU et al., 2023).

Apesar do uso crescente de RV/RA, não há estudos que avaliem sua eficácia em tarefas de inspeção e acesso aos dados de campo, de modo a validar a tecnologia e seu emprego. Consciente desta lacuna e do potencial das tecnologias da indústria 4.0, este artigo propõe a análise de um evento de sinistro, observando como ocorre na prática a obtenção de informações em uma vistoria de forma tradicional e como ocorre a obtenção de informações em uma vistoria com o uso de equipamento de realizada virtual/aumentada, expondo as informações obtidas perante a coleta.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Métodos de inspeção aplicados tradicionalmente de formas manuais são frequentemente criticados por sua ineficiência, dispêndio de tempo e suscetibilidade a erros humanos, justificando a busca por soluções tecnológicas mais assertivas (Wu et al., 2024). A RV possibilita ao usuário condições de perceber o que está sendo visualizado como um ambiente imersivo, ou seja, o observado sente que pode estar imerso no ambiente em que está interagindo, tornado a experiência próxima da sensação de estar no local/ambiente em que está sendo visualizado em uma tela, tendo o controle de se deslocar dentro do ambiente e visualizar para todas as direções.

Na realidade virtual é proporcionado ao usuário a sensação de imersão em um ambiente digital, permitindo a interação e a livre movimentação, enquanto a realidade aumentada sobrepões elementos virtuais ao mundo real, aprimorando a percepção e o entendimento de informações (FREITAS; RUSCHEL, 2010).

A RA caracteriza-se por permitir dentro do mesmo ambiente de realidade virtual que seja possível sobrepor elementos e adicionar informações, como por exemplo ter condições que obter medidas e dimensões de elementos que estão no ambiente virtual, ou mesmo adicionar ícones com informações pertinentes a um determinado objeto.

A RV e a RA são componentes chave do conjunto de tecnologia da indústria 4.0 com crescente aplicação na indústria da construção, prometendo elevar a eficiência e a produtividade (CUELLAR et al., 2023). Atualmente as seguradoras em todo o território nacional e as empresas terceirizadas que executam a vistoria e demais processos, necessitam efetuar registros visuais e registros textuais dos danos causados pelo evento de sinistro em um determinado local, de forma que estes registros guiam e norteiam todo o restante do processo de sinistro, de forma que estas informações iniciais são compartilhadas com a Cia seguradora e demais envolvidos no processo de sinistro, o que reforça a relevância de uma vistoria consistente e de qualidade.

3. METODOLOGIA

Estre trabalho é um estudo de caso de caráter descritivo e em sua elaboração, foi explorada uma vistoria realizada pela empresa **MM Associados – Regulações de Sinistros e Perícias**, com a utilização de ferramenta de RV. A escolha de um estudo de caso descritivo permitiu aprofundar a análise de um evento de sinistro real, utilizando uma abordagem comparativa entre a metodologia tradicional e a inovadora aplicação da RV/RA. Nesse estudo, não houve mensuração de tempo, apenas a abordagem da eficácia dos dados levantados.

Tal abordagem se alinha a necessidade de avaliar a eficácia de novas tecnologias em cenários práticos (MOLAEI, et al., 2023), considerando que diferentes técnicas de reconstrução 3D possuem variadas aplicabilidades e desafios, como profundidade, precisão e material (SU et al. 2023). A pesquisa foi conduzida com foco na vistoria pós -incêndio em um apartamento residencial multifamiliar, onde foram coletados e analisados dados de ambos os métodos para identificar vantagens operacionai, econômicas e potenciais lacunas da implementação do RV/RA.

Assim, o trabalho buscou demonstrar o impacto e a eficácia da RV/RA como uma complementação no diagnóstico do pós-sinistro, identificando com o uso desta ferramenta as principais vantagens operacionais e econômicas para as empresas seguradas, bem como potenciais lacunas e desafios de sua implementação. Para tal, comparam-se os dados obtidos convencionalmente com o emprego de tecnologia. Trata-se assim de uma pesquisa qualitativa, com análise de dados internos de um evento de sinistro, e como já citado, sem mensuração de tempo. A metodologia baseou-se na obtenção de dados de forma convencional e de forma complementar com uso de ferramentas de RA/RV, analisando a qualidade dos dados levantados para fins do diagnóstico em si.

3.1. Evento de Sinistro

O sinistro em questão decorreu de um incêndio em um apartamento de uma edificação residencial. No dia 13/09/2025 (sábado), aproximadamente 02h30min, foi informado que um morador de um dos apartamentos de frente para a via pública, ouviu uma discussão na rua e ao verificar identificou que eram dois meliantes que estavam furtando os fios dos postes públicos e imediatamente naquele momento ocorreu a explosão de um transformador de um dos postes localizados na via pública. Logo após a explosão do transformador, se percebeu um forte cheiro de fumaça e uma das moradoras começou a gritar que havia fogo no prédio, assim os moradores se mobilizaram para sair do condomínio e alguns moradores identificaram que o fogo ocorria na unidade 302. Assim, foram

auxiliar a moradora que é idosa e não havia percebido que o incêndio era em sua unidade. Informaram a idade de 80 anos e que ela estava dormindo no cômodo da sala de estar. Estima-se que o incêndio tenha se iniciado no dormitório onde ela armazena diversos itens pessoais.

O corpo de bombeiros foi acionado por um dos moradores as 02h34min, e chegou ao local as 2h45min iniciando o combate ao incêndio e permanecendo no local até as 5h45min, até o cessar fogo. Quanto a causa, a síndica informou que o incêndio iniciou logo após o roubo dos fios e a explosão do transformador da rua, portanto entendem que ocorreu uma sobre tensão no fornecimento de energia que provavelmente está relacionado com a ocorrência do incêndio que houve no apartamento 302.

A síndica informou que no dia 13/09/2025 (sábado) durante o dia necessitou utilizar os extintores devido a um foco de incêndio que retornou a iniciar no dormitório do apartamento 302, enquanto ela estava com o Engenheiro Civil fazendo a avaliação da estrutura, e no dia 14/09/2025 (Domingo) retornou ao condomínio, pois um dos moradores havia informado que estava visualizando fumaça pela janela do apartamento 302, portanto utilizou novamente extintores em um foco de incêndio no dormitório do apartamento 302. Assim, optou em fechar as janelas com tapume para impedir a circulação de vento, o que impediu que reaparecessem novos focos de incêndio.

3.2. Vistoria com equipamento de registros fotográficos tradicional

O equipamento fotográfico utilizado para a obtenção das imagens foi um Samsung S24+, com imagem estáticas e necessidade de múltiplos registros (além da experiência do inspetor), permitindo a celeridade e a confiabilidade em sua análise posterior. A utilização de um equipamento fotográfico tradicional, exige que o vistoriador efetue um levantamento de medidas para que seja possível elaborar um croqui de planta baixa com as dimensões do local em estudo, assim como demonstrado na **figura 1**, a planta baixa resultante do levantamento de medidas efetuado no local.

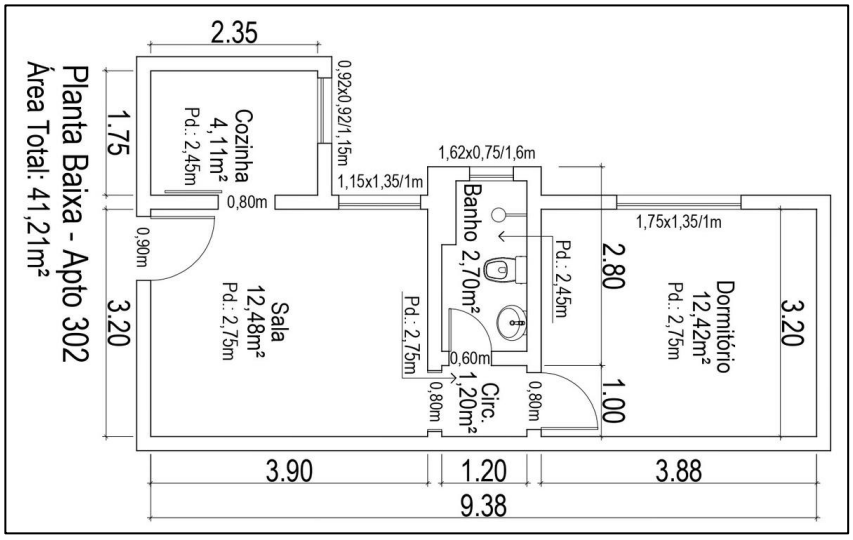


Figura 1 - Croqui de planta baixa do apartamento 302 (foco do incêndio), elaborado pelo vistoriador.

Durante a vistoria foram obtidas diversas imagens, sendo: 40 registros fotográficos da área interna do apartamento 302 (foco do incêndio), 49 registros fotográficos das áreas comuns, totalizando 89 imagens. Após os registros das imagens é possível elaborar um documento para demostrar os danos consequentes do evento, conforme demonstrado na **figura 2**, a seguir. A **figura 2**, necessita de informações adicionais para que permita o entendimento do posicionamento do observador, por isso o croqui de planta baixa se faz necessário, do contrário, a parede em análise fica comprometida pela impossibilidade do entendimento de seu posicionamento da planta do imóvel.

Neste caso, durante essa vistoria não foi efetuado um registro fotográfico do ponto, surgindo a necessidade de esclarecer visualmente o detalhe apontado na **figura 2**. Portanto, foi efetuada uma aproximação da mesma imagem buscando essa complementação, conforme a **figura 3**.



Figura 2 – Registro fotográfico com equipamento tradicional de geração de imagem, obtida no dormitório do apartamento 302.



Figura 3 – Ampliação da imagem anterior, para obter visual do detalhe na alvenaria da área interna do dormitório do apartamento foco do incêndio.

Observa-se na imagem da **figura 3** que a imagem ampliada perde resolução e compromete o esclarecimento visual necessário para dirimir dúvidas quanto a um detalhe que possa surgir eventualmente após a vistoria finalizada e que se for algo de muita importância exigira o retorno no local para os devidos esclarecimentos.

3.3. Vistoria com equipamento de registro de 360°

O equipamento utilizado para o registro em 360°, também denominado RV é de uma empresa Americana denominada matterport (https://matterport.com/). A seguir, a **figura 4**, apresenta a imagem do equipamento utilizado que para sua utilização fica sobre um tripé e quando acionada ela efetua um giro de 360°, executando o registro tridimensional do local



Figura 4 - Câmera matterport MC250 Pro2

O uso do equipamento exige que seja feita a instalação do aplicativo da matterport para efetuar conexão com a MC250 Pro2, assim através do celular é possível emitir um comando para a câmera executar o giro de 360° e registrar a imagem tridimensional, de forma que ela permite aproximadamente 5m de distância entre um registro e outro, para consiga obter automaticamente a comunicação entre os pontos de registro fotográfico 360° e assim gerar o ambiente virtual completo. Nesta vistoria, com o equipamento MC250 Pro2 foram executados pontos de registro de imagens sendo: 8 pontos de registros de imagens 360° dentro do apartamento 302 (foco do incêndio); 39 pontos na área comum do condomínio, totalizando 47 pontos de registros de imagens 360°;

Com isso o ambiente virtual foi gerado automaticamente, exigindo apenas eventuais ajustes simétricos para determinara o posicionamento das paredes e a inserção das identificações dos ambientes, conforme demonstrado na **figura 5** através de imagem tridimensional.

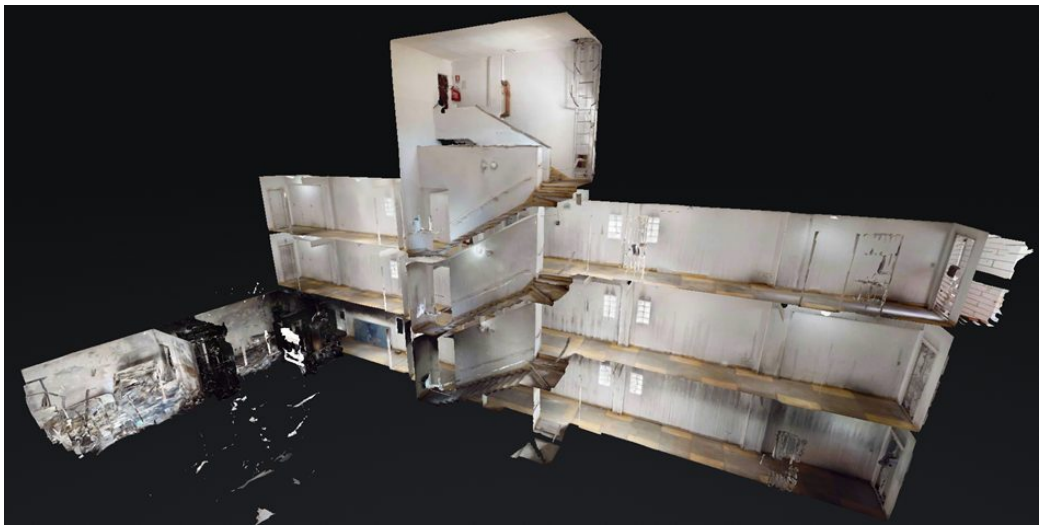


Figura 5 - Imagem 3D, da área interna de 3 pavimentos e do apartamento foco do incêndio, resultante do uso do equipamento matterport MC250 Pro2

Conforme demonstrado na **figura 5** e na **figura 6**, o equipamento gera uma maquete 3D com a visualização interna das imagens registradas através de seu uso e uma planta baixa. Além disso, como foram efetuados registros tanto da área interna do apartamento foco do incêndio como da circulação de 3 pavimentos a maquete conectou todos os ambientes de forma integrada que também permite interação com a maquete e geração de imagens mais especificas como do apartamento incendiado conforme **figura 7**.

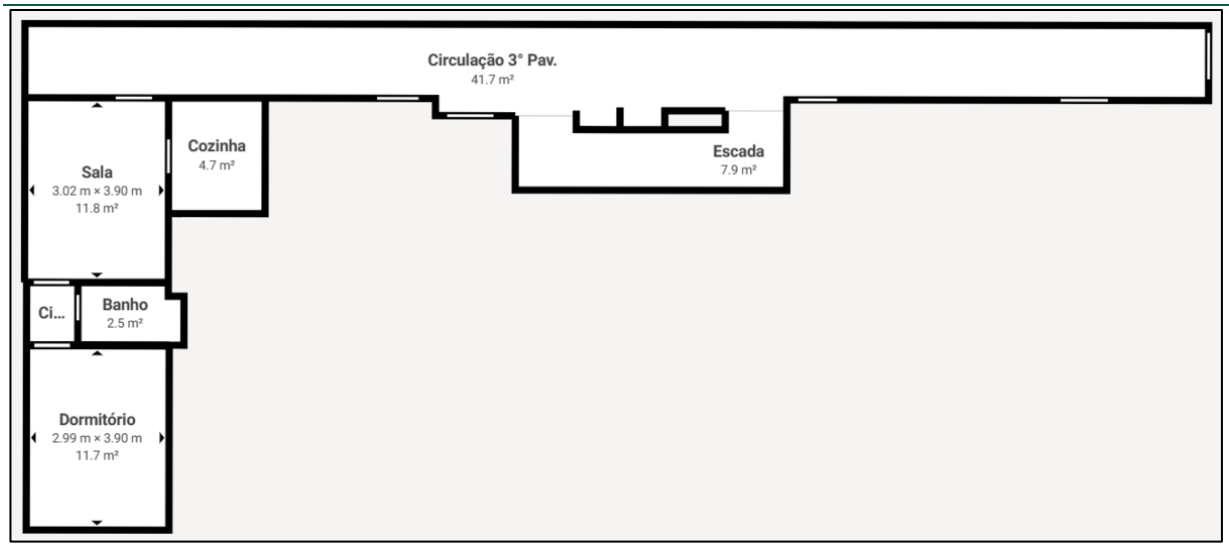


Figura 6 – Imagem de planta baixa gerada através das imagens do equipamento MC250 Pro2, de forma automática.



Figura 7 - Imagem 3D, da área interna do apartamento foco do incêndio, resultante do uso do equipamento matterport MC250 Pro2

Na imagem da **figura 7** é possível perceber que há um registro parcial de uma fachada externa de uma edificação, que é o resultado registrado pelo equipamento MC250 Pro2 na posição interna do apartamento incendiado, através da janela que estava sem esquadria. Além da maquete, é possível transitar por dentro do apartamento e dos pavimentos registrados de forma virtual e interativa, assim como é efetuado no StreetView do google, o que permite revisitar cada detalhe dos danos tais quais eles foram registrados logo após o evento de sinistro, assim como demonstrado abaixo na **figura 8**.



Figura 8 - Imagem 3D, da área interna do dormitório do apartamento foco do incêndio, resultante do uso do equipamento matterport MC250 Pro2

A imagem da **figura 8** foi obtida no software da matterport em um ambiente 3D que permite o giro de 360° em qualquer direção. Além disso, tem-se no canto direito um mapa com a planta baixa e uma seta em vermelho que determina a posição do observador no exato momento da vista que está sendo visualizada. O ambiente 3D interativo, permite que seja possível efetuar aproximação de algum detalhe em específico para uma determinada análise que seja necessária para esclarecer dúvidas a qualquer operador que esteja acessando o ambiente 3D, assim como demonstrado na **figura 9**, logo abaixo, onde é efetuado um zoom da mesma posição de observador da **figura 8**, e que demonstra a capacidade de resolução das imagens geradas e a facilidade em identificar algum detalhe necessário para um determinado diagnóstico.

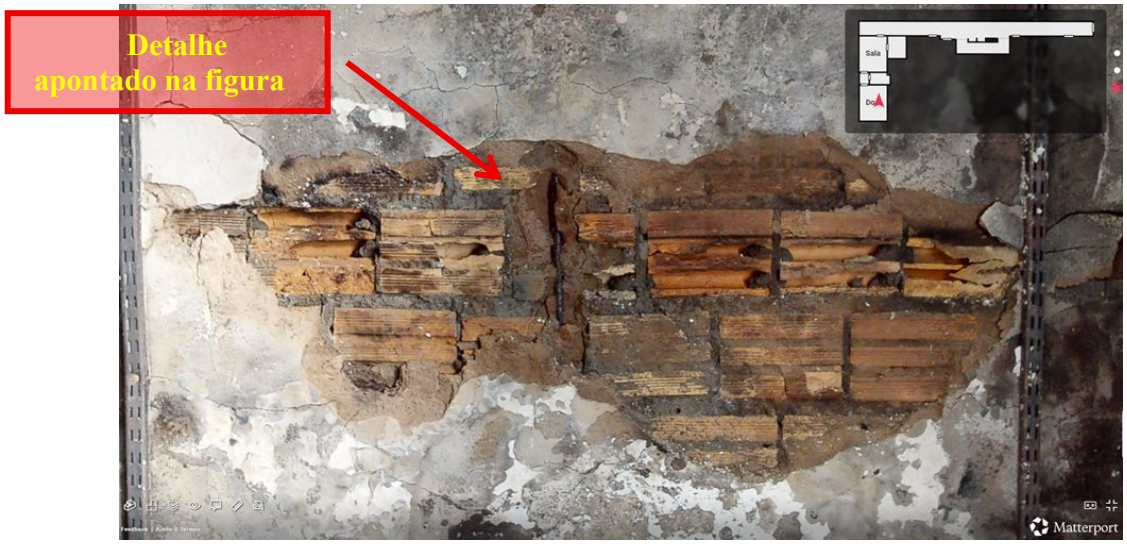


Figura 9 - Imagem 3D, de detalhe na alvenaria da área interna do dormitório do apartamento foco do incêndio, resultante do uso do equipamento matterport MC250 Pro2.

Neste ambiente virtual, também é possível obter dimensões e medidas, através de uma ferramenta do software, que permite clicar em qualquer ponto da imagem, esticar uma trena e clicar em outro ponto resultando em uma unidade métrica, como por exemplo um pé direito ou as dimensões de uma

abertura, assim como demonstrado na **figura 10**, onde é obtido a altura do pé direito através do ambiente virtual.



Figura 10 - Imagem 3D do dormitório do apartamento foco do incêndio, imagem da trena com a métrica da altura do pé direito, resultante do uso do equipamento matterport MC250 Pro2.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Analisando o comparativo prático entre equipamentos tradicionais e virtuais para o uso em vistorias de pós sinistros como insumos para as seguradoras, tem-se que inicialmente a quantidade de registros fotográficos comparado a quantidade de pontos de imagens com o equipamento virtual, são bem diferentes. Mesmo o equipamento virtual exigindo alguns segundos a mais em registro ele exigiu apenas 8 pontos contra 40 fotos dentro do apartamento de aproximadamente 41m², tendo em vista que os registros fotográficos não foram executados com a preocupação de registrar todos os detalhes o que iria aumentar significativamente a quantidade de fotos, pois estava-se utilizando o recurso de um equipamento virtual, já de conhecimento do vistoriador. Os resultados do presente estudo demonstram ganhos significativos em eficiência e precisão na coleta de dados, corroborando estudos que apontam para a superioridade de abordagens automatizadas em relação a métodos manuais, especialmente na otimização de ciclos operacionais (MOLAEI et al., 2023).

Outro fator importante é relacionado a planta baixa do local, pois o equipamento virtual gera um desenho automaticamente, mesmo que exija alguns ajustes e correções, ainda assim se torna mais rápido e prático do que elaborar um croqui em um software como o AutoCad. Wu et al (2024) concordam com o apresentado, ao informar que a tecnologia, além de mais precisa, é feita com maior otimização do processo.

De forma geral a compreensão do local sinistrado, para um usuário/operador que acessar o link do ambiente virtual e facilitada pela interação entre os pontos de registro das imagens de 360°, sendo que o usuário contara sempre com o apoio do mapa de planta baixa que possui um observador simbolizado por uma seta que aponta para onde o usuário/operador está olhando na imagem de 360°. O detalhamento e a abrangência da documentação 3D obtida pela RV/RA, apesar dos desafios inerentes a reconstrução assertiva de ambientes (SU et al,. 2023), provam-se cruciais para o gerenciamento de ativos e a detecção eficiente de problemas, oferecendo uma base informacional superior para as decisões das seguradoras

A redução de custo atrelado ao ganho de tempo é um aspecto muito relevante, pois caso surja um impasse pontual sobre um determinado elemento danificado em que não se tenha registro adequado do ponto em discussão, com o acesso ao ambiente virtual é possível que todos os usuários tenham visão do mesmo ponto de vista, permitindo alinhamentos de opiniões mesmo que os envolvidos estejam distantes entre si, de forma que sem essa ferramenta seria necessário o retorno ao local. A flexibilidade da captura de dados com equipamento de realidade virtual, que permite registros detalhados mesmo com posições de câmeras não fixas, supera uma das principais limitações das inspeções visuais tradicionais (BELLONI et al., 2023), proporcionando uma documentação mais completa e confiável. Adicionalmente, esta abordagem automatizada mitiga as ineficiências e erros humanos comumente associados a avaliação manual pós construção (WU et al., 2024)

Os custos iniciais para a aquisição do equipamento ainda são um impedimento, já que se trata de instrumento importado, além disso, apesar de ser um equipamento de fácil utilização, se faz necessário aprender a posicionar o equipamento de forma que cada posição cubra os pontos cegos das demais posições. Este modelo 3D imersivo funciona como um “Digital Twin” do evento de sinistro, permitindo não apenas a visualização, mas também o monitoramento e a análise preditiva do comportamento do local, conceito que tem sido explorado par aa automação na gestão de ativos e patrimônio. (LUCCHI, 2023)

Como limitações, temos as dimensões e peso do equipamento, pois em locais de difícil acesso ou que exigem passagem por locais apertados e/ou escadas do tipo marinheiro, acabam impossibilitando o transporte do equipamento e seu tripé.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atual pesquisa teve como objetivo analisar o impacto e a eficiência da realidade virtual/aumentada na complementação do diagnóstico pós sinistro, com foco nas vantagens operacionais e econômicas para as empresas seguradoras, bem como nos desafios de implementação. Assim a presente pesquisa demonstrou que a utilização da realidade virtual/aumentada no diagnóstico pós sinistro representa um avanço significativo para as companhias seguradoras. Os resultados obtidos indicam uma melhoria substancial na qualidade e abrangência da documentação, alinhando-se a tendências global de transformação da indústria da construção por meio das tecnologias da indústria 4.0, como BIM e inteligência artificial (CUELLAR et al. 2023; SUN et al., 2023).

Os resultados deste estudo de caso, comparando métodos tradicionais de vistoria com a utilização de equipamentos de registro 306°, demonstram claramente o potencial transformador destas tecnologias. Percebe-se que a utilização dos equipamentos de realidade virtual/aumentada, através do uso do equipamento Matterport, resultou em uma documentação robusta e significativamente mais abrangente em comparação aos registros fotográficos tradicionais. A capacidade de reproduzir ambientes virtuais navegáveis, plantas baixas automaticamente e condições de medições através do ambiente virtual, assim como demonstrado nas figuras 5 a 10, cumpre com o objetivo de preencher lacunas e diminuir a necessidade de deslocamentos físicos, potencializando o processo de vistoria.

Para as cias seguradoras, esta abordagem não somente uma considerável diminuição nos custos das operações e do tempo envolvido, mas também uma melhora significativa na assertividade e celeridade na regulação de sinistros. A capacidade de múltiplos usuários entre técnicos e analistas acessarem simultaneamente ou separadamente os ambientes virtuais, oportunizando discussões técnicas e alinhamentos, dispensando a necessidade de deslocamento físico até o local do evento, oportuniza clareza e transparência para mitigar conflitos e potencializar soluções rápidas e satisfação

dos clientes. A capacidade de criar ambientes virtuais e imersivos e mensuráveis otimiza a gestão de sinistro, promovendo transparências e eficiência. Essa abordagem mitiga impasses, de forma análoga os benefícios da automação em análises complexas de conformidade em models digitais (FISCHER et al., 2023).

Não obstante os benefícios evidentes no uso da realidade virtual para os eventos de vistorias pós sinistros expõe alguns desafios, como o alto custo inicial na aquisição de equipamentos importados, assim como a experiência pratica no posicionamento estratégico da câmera 360° e a limitação no uso e transporte em locais de difícil acesso, são algumas restrições. Apesar dos desafios relacionados aos custos iniciais e à necessidade de validação legal dos registros digitais, a RV/RA posiciona-se como uma ferramenta essencial. Ela supera as ineficiências e erros dos métodos manuais de coleta de dados (MOLAEI et al., 2023; WU et al., 2023) e molhara a detecção de anomalias visuais (BELLONI et al., 2023)

Analisando o futuro, o uso da realidade virtual para registro de vistorias nos locais de pós sinistro, podem revolucionar a forma como esses ambientes são diagnosticados e regulados. Atualmente não se encontra registro de quais empresas estão utilizando esta tecnologia, no entanto com o advento da inteligência artificial esta oportunidade necessita ser mais bem explorada, já que certamente oferece um grande potencial de utilização. Além disso também é necessário tratar sobre as questões de compartilhamento dos registros que essa tecnologia oferece, pois é indispensável identificar quanto a sua aceitação e uso legal, para que todos os envolvidos em cada processo, tenham condições e acesso a tecnologia que permite um esclarecimento visual com um ponto de vista imparcial.

REFERÊNCIAS

BELONI, V. et al. **Crack Monitoring from Motion (CMfM): Crack detection and measurement using cameras with non-fixed positions**. Automation in Contruction, Amsterdam, v. 156, art 105072, 2023. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: 09/11/2025.

CUELLAR, S; GRISALES, S; CASTANEDA, D.I. **Constructing tomorrow: A Multifaceted exploration of industry 4.0 scientific, patents, and market trend**. Automation in Construction, Amsterdam, v. 156, art 105113, 2023. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: 09/11/2025.

FERRARI, V. J. **Inspeção para avaliação do estado de uma edificação de concreto aramado: estudo de caso.** Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 15, n 1, p. 1-11, 2023. Disponível em: https://share.google/3jp5WHLyA3tp5H86J. Acesso em: 09/11/2025.

FISCHER, S. et al. **Automation of scape rout analysis fo BIM-based building code checking.** Automation in Construction, Amsterdam. V. 156, art 105092, 2023. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: 09/11/2025.

FREITAS, M.R.; RUSCHEL, R. C. **Aplicação de realidade virtual e aumentada em arquitetura.** Arquiteturarevista, Campinas, v. 6, n. 2, p. 127-135, jul./dez. 2010. Disponível em: www.arquiteruarevista.unisinos.br. Acesso em: [09/11/2025].

LUCCHI, E. **Digital twins for the automation of the heritage construction sector.** Automation in Construction, Amsterdam, v. 156, art. 105073, 2023. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: 09/11/2025.

MOLAEI, A et al. **Automatic estimation of excavator actual and relative cycle times in loading operations.** Automation in Construction, Amsterdam, v. 156, art. 105080, 2023. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: 09/11/2025.

SU, W. et al. **Critical success factors for implementing blockchain technology in construction.** Automation in Construction, Amsterdam, v. 156, art 105135, 2023. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: 09/11/2025.

SU, Y. et al**. 3D reconstruction in underground utilities.** Automation in Construction, Amsterdam, v.156, art. 105100, 2023. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: 09/11/2025.

WU, H. et al. **On-Site Measuring Robot Technology for Post-Construction Quality Assessment of Building Projects.** Buildings, Basel, v. 14, n. 10, art. 3085, out. 2024. Disponível em: www.mdpi.com. Acesso em: 09/11/2025.

CAPÍTULO 17 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/bhzbk254
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/b62cxr20

INTERVIR em ESTRUTURAS EXISTENTES: da ESCOLA à PRÁTICA

Thomaz Ripper[1]*, João Victor Martins[2]*
*Autor de contato: **thomazripper@mail.telepac.pt; jv.martins16@gmail.com**

[1] Thomaz Ripper Engenharia, Cascais, Portugal
[2] São Paulo, Brasil

RESUMO

A década de 1970 assinalou o aparecimento do campo da reabilitação de estruturas de concreto armado, resultante tanto do envelhecimento do edificado quanto da evolução do estado-da-arte. As intervenções iniciais centraram-se no incremento da resistência e da rigidez estrutural. Cerca de duas décadas mais tarde, o foco deslocou-se para a durabilidade, estimulando o desenvolvimento de diversas soluções destinadas à reposição do ambiente alcalino das armaduras. Já no século XXI, emergiram alternativas aos métodos tradicionais de reforço. Atualmente, observa-se uma mudança de paradigma, com a gestão e monitoramento de ativos estruturais a integrar abordagens baseadas em aprendizado de máquina, para uma gestão mais eficiente da informação ao longo da vida útil das estruturas, além de obras de *retrofit (upgrading)* que, ao compreenderem várias especialidades, trazem desafios singulares a engenharia estrutural Em todos esses ciclos, contudo, manteve-se uma fragmentação entre o ensino – maioritariamente discreto – e a prática profissional, de caráter intensivo. Propõe-se, assim, neste texto, uma articulação entre teoria, metodologia e prática, contribuindo criticamente e com rigor técnico para a garantia de resiliência estrutural.
Palavras-chave: recuperação; retrofit; resiliência; aprendizado de máquina, estado-da-arte.

ABSTRACT

The 1970's marked the emergence of the field of reinforced concrete structure rehabilitation, resulting both from the ageing of the urban fabric and from advances in the state-of-the-art. Initial interventions focused on increasing structural strength and stiffness. Around two decades later, the focus shifted to durability, stimulating the development of various solutions aimed at restoring the alkaline environment of reinforcement embedded in concrete. In the 21st century, alternatives to traditional strengthening methods emerged. At present, a paradigm shift is observed, with the management and monitoring of structural assets incorporating machine learning–based approaches for more efficient information management throughout the service life of structures, alongside retrofit (upgrading) works which, by encompassing multiple disciplines, pose unique challenges to structural engineering. Throughout all these cycles, however, a fragmentation has persisted between education – largely discrete – and professional practice, of an intensive nature. This text therefore proposes an articulation between theory, methodology and practice, contributing critically and with technical rigour to ensuring structural resilience.
Keywords: repair; retrofit; resilience; machine learning; state-of-the-art.

1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta uma revisão histórica das diversas nuances atravessadas pelo segmento de Intervenção em Estruturas Existentes, área que adquiriu crescente relevância na Construção Civil brasileira desde a década de 1970 e que atualmente representa parcela estratégica do mercado. O setor enfrenta, desde sempre, exigentes desafios, como, atualmente, a incorporação de tecnologias avançadas de inspeção, modelagem das construções existentes, dimensionamento estrutural, critérios de projeto, métodos de execução e sistemas de manutenção preventiva.

O texto não se caracteriza como pesquisa inédita, mas como uma compilação técnico-crítica fundamentada na experiência dos autores e na evolução histórica das práticas de recuperação estrutural, com ênfase na relação entre o estado-da-arte e a respectiva regulamentação. O objetivo central consiste em analisar a evolução técnica e mercadológica das intervenções em estruturas existentes ao longo dos últimos sessenta anos, destacando a necessidade de revisão dos modelos de ensino e formação profissional. Nesse contexto, são propostas diretrizes para atualização curricular das disciplinas ainda na graduação, visando a formação de profissionais aptos a conduzir intervenções tecnicamente seguras, duráveis e confiáveis.

Adicionalmente, discutem-se aspectos relativos à estruturação de uma disciplina específica voltada à Patologia das Estruturas de Concreto Armado, com abordagem predominantemente prática, a partir da atualização das disciplinas de Estruturas e Materiais de Construção. A proposta considera as Diretrizes Curriculares Nacionais estabelecidas pela Resolução nº 2, de 24 de abril de 2019, incorporando conteúdos relacionados a novos materiais, como polímeros reforçados com fibras (FRP), bem como métodos inovadores de inspeção, caracterização de anomalias e estimativa de parâmetros físico-mecânicos de materiais resistentes com apoio de técnicas de *machine-learning*.

2. METODOLOGIA

A abordagem adotada neste trabalho possui caráter reflexivo e retrospectivo, fundamentando-se na análise da evolução do estado-da-arte das intervenções em estruturas existentes e de sua relação com o desenvolvimento dos conceitos de resiliência, durabilidade, e desempenho estrutural.

O texto parte do entendimento de que toda construção projetada se torna, a curto prazo, numa construção existente a partir do início de sua utilização, seja como habitação, seja como objeto viário. Assim, as intervenções estruturais são tratadas como campo integrado do conhecimento, demandando abordagem multidisciplinar e interpretação crítica das condições de habitabilidade, seguindo os conceitos seculares de Le Corbusier e Heidegger, com bem sintetiza Anderson (2021).

A análise proposta valoriza o diagnóstico como atividade técnica complexa, não restrita à simples identificação de anomalias, antes privilegiando a proficuidade da inspeção, a interpretação dos mecanismos de deterioração e a adequada correlação entre causas, processos e efeitos, reconhecendo a importância da experiência técnica e da capacidade analítica do inspetor. Tal entendimento encontra respaldo em referências clássicas da área, como nas reflexões apresentadas por Jörg Schneider e Ton Vrouwenvelder no documento publicado pela IABSE em 2017.

As principais referências bibliográficas para o efeito utilizadas compreendem documentos normativos, publicações técnico-científicas e registros de obras representativas, elementos considerados fundamentais para a compreensão da evolução das práticas de intervenção estrutural em construções existentes e de sua consequente consolidação na regulamentação técnica aplicável.

3. PROLEGÔMENOS DA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL NO BRASIL (1970, 1980)

A consolidação da recuperação estrutural no Brasil decorreu, principalmente, da conjugação de três fatores: a perda prematura de desempenho de estruturas de concreto armado, em especial por corrosão das armaduras; a evolução do estado-da-arte, marcada, em particular, pela publicação dos Boletins 72 e 73 do CEB, ambos de 1970; e o aumento da demanda construtiva nos grandes centros urbanos brasileiros, aproveitando o existente, por já não existir espaço para novas construções.

Nesse contexto, surgiram as primeiras empresas especializadas em recuperação estrutural, destacando-se a JATOCRET, fundada em 1967, e a CONCREJATO, fundada em 1973, esta última beneficiada pela experiência acumulada da CONCREMAT, referência nacional em tecnologia e controle do concreto desde 1952.

A principal técnica empregada desde sempre foi o concreto projetado, cuja rapidez executiva, viabilizou intervenções em larga escala e estabeleceu as bases técnicas da recuperação estrutural no país. O domínio dessa tecnologia permitiu, já na década de 1980, a exportação de conhecimento técnico brasileiro para países da Europa e da África. A recuperação dos pilares do Pavilhão de São Cristóvão, executada pela CONCREJATO em 1978, constituiu marco relevante desse período e correspondeu também ao primeiro projeto de Thomaz Ripper, coautor deste texto.

Figura 1 – A recuperação da cobertura do Estádio Maracanãzinho pela JATOCRET, em 1970



Fonte: Revista AMIGA, 1970.

À época, o concreto projetado era aplicado exclusivamente por via seca, utilizando máquinas de câmara dupla derivadas do modelo N2 da *Allentown* (Figura 2), posteriormente incorporada pela Putzmeister. O processo permitia obter material com elevada compacidade, resistência mecânica e alcalinidade, características essenciais à reconstituição da proteção das armaduras.

Figura 2 – Máquina de projeção de concreto modelo Allentown N2.



Fonte: *website* da ALLENTOWN

As intervenções, na primeira década da recuperação estrutural brasileira, caracterizavam-se por abordagem predominantemente empírica, baseada na observação do quadro fissuratório, identificação de focos de segregação no concreto e avaliação visual do estado de conservação.

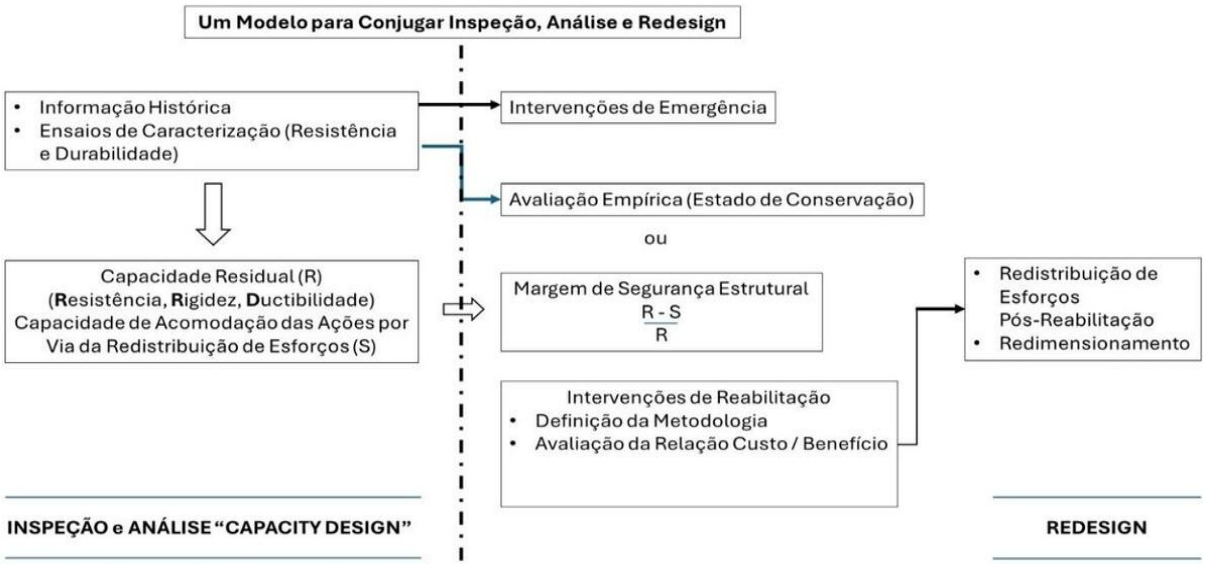
A verificação da capacidade residual dos componentes estruturais era conduzida com base no *capacity design*, incluindo a contribuição parcelar das armaduras existentes, corroídas. Os reforços, quando necessários, eram executados pela incorporação localizada de novas barras de aço.

Os procedimentos de reparo envolviam a remoção do concreto deteriorado até ultrapassar em aproximadamente 20 mm o plano das armaduras, seguida da limpeza das superfícies por jateamento de água ou areia úmida sob média pressão e posterior recomposição das seções com concreto projetado em via seca, que constituí massa alcalina muito compacta, protetora das armaduras.

A prática de avaliação estrutural adotada naquele período distinguia-se pela busca do aproveitamento máximo da capacidade resistente remanescente, evitando reforços desnecessários e minimizando a introdução de novas armaduras, que constituem obstáculo à aplicação do material cimentício de reposição, em particular nas zonas mais interiores ao plano das armaduras.

A consolidação conceitual da área ocorreu na década de 1980, especialmente com a publicação do Boletim 162 do CEB, em 1983, pioneiro na sistematização dos procedimentos de inspeção, verificação estrutural e dimensionamento de reforços (*redesign*). O documento estabelece critérios integrados para avaliação da capacidade residual, redistribuição de esforços e correlação entre inspeção, durabilidade e reforço estrutural, conceitos que permanecem atuais,

Figura 3 – *Workflow* para inspeção e *redesign (retrofit)*.



Fonte: autores, adaptado do Boletim n.º 162 do CEB (1983).

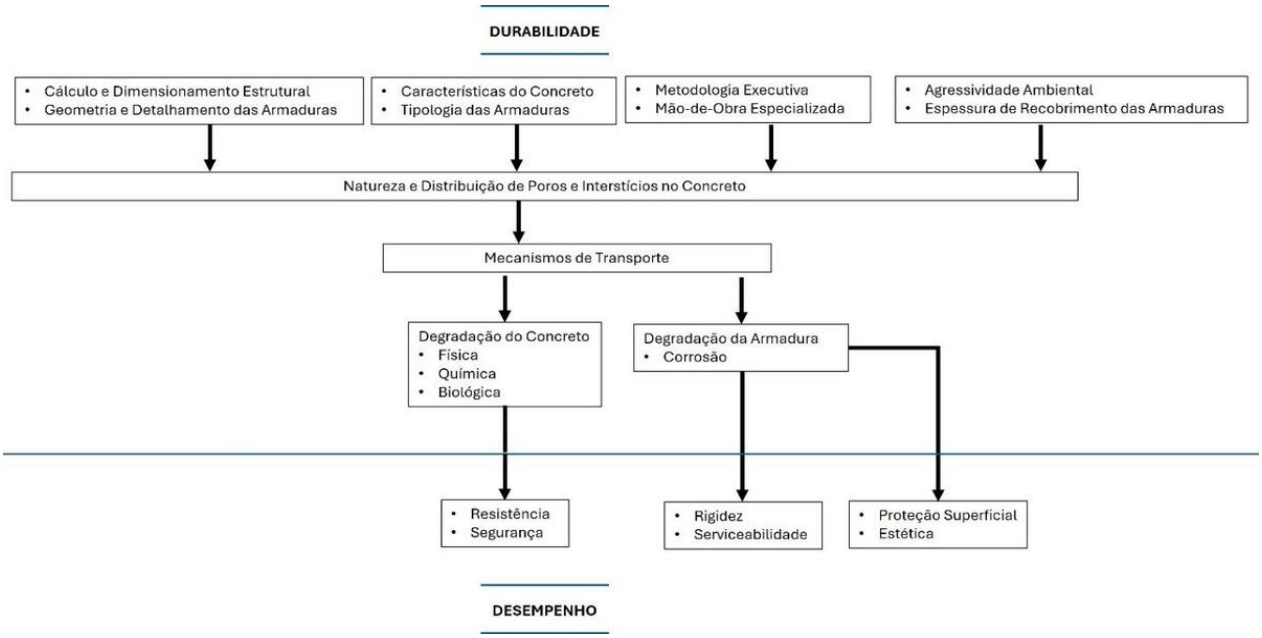
Paralelamente, o Boletim 148 do CEB introduziu, de forma mais aprofundada, os conceitos de durabilidade aplicados às estruturas existentes, promovendo mudança significativa na prática das intervenções. Até meados da década de 1980, os projetos de recuperação concentravam-se predominantemente no restabelecimento da resistência e da rigidez estrutural. A partir de então, a durabilidade passou a assumir papel central, incorporando atividades sistemáticas de inspeção, ensaios *in situ*, avaliação do estado de conservação e previsão de vida útil, o que ampliou significativamente a participação de profissionais de tecnologia do concreto nas intervenções.

Apesar da crescente relevância técnica e econômica do setor, persistia a inexistência, naquele período, de formação acadêmica específica em recuperação estrutural. Assim, profissionais originalmente formados para o projeto de estruturas novas passaram, muitas vezes de improviso, a adaptar seus conhecimentos às particularidades das construções existentes. Mesmo diante da expansão do mercado, os cursos de Engenharia Civil não contemplavam, de forma estruturada, os fundamentos técnicos e metodológicos das intervenções em estruturas existentes.

4. DURABILIDADE: UMA QUESTÃO FULCRAL NA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

A consolidação da durabilidade como requisito central das intervenções estruturais ocorreu em 1989, com a publicação do Guia para Concretos Duráveis pelo CEB, sob a coordenação por Steen Rostam. O documento, direcionado especificamente aos profissionais atuantes na recuperação estrutural, sistematizou os mecanismos de degradação do concreto armado e os fatores que condicionam sua evolução, integrando, de forma consistente, os conceitos de durabilidade, segurança e rigidez estrutural, comportamento em serviço e proteção dos componentes estruturais.

Figura 4 – Relação entre os conceitos de durabilidade e desempenho em concreto armado.



Fonte: autores, adaptado do CEB (Guia para Concretos Duráveis, 1989).

A partir desse marco, o mercado passou a incorporar, de maneira simultânea, critérios de resistência, rigidez, serviceabilidade e vida útil nas estratégias de intervenção. Em resposta, grandes empresas internacionais desenvolveram produtos e sistemas voltados ao restabelecimento da alcalinidade da matriz cimentícia e à proteção das armaduras, por meio de inibidores migratórios, revestimentos protetores e materiais de reparo especializados.

Nesse contexto, destaca-se a recuperação das docas secas da Setenave, em Setúbal, Portugal, executada em 1991 sob responsabilidade técnica de Thomaz Ripper. A intervenção envolveu extensa recomposição de seções por concreto projetado, via seca, rigoroso controle tecnológico e monitoramento contínuo das propriedades reológicas e da ação de agentes agressivos e mecanismos de degradação. A participação de Steen Rostam como consultor de controle de qualidade permitiu a aplicação prática dos conceitos estabelecidos no Guia para Concretos Duráveis (1989). A obra foi classificada pela *American Shotcrete Association* como "*Shotcrete Classic*", em 2004.

A regulamentação brasileira acompanhou essa evolução com relativa defasagem temporal. A partir da década de 1990, foram publicadas normas específicas sobre a aplicação de concreto projetado, como a NBR 13597 (1996) e a NBR 14279 (1999), ambas voltadas à aplicação por via seca. Contudo, tais documentos ainda não incorporavam critérios explícitos na vertente durabilidade.

Durante a década de 1990, as empresas especializadas em recuperação estrutural passaram a investir de forma mais sistemática na caracterização dos agentes agressivos e dos mecanismos de deterioração, mediante inspeções detalhadas e ensaios de campo específicos. Como consequência, consolidou-se o uso intensivo de produtos industrializados para reparo e proteção estrutural – argamassas, *grouts*, resinas, inibidores de corrosão e revestimentos – enquanto os reforços estruturais frequentemente permaneciam limitados à ampliação direta da seção resistente, raramente incorporando, como anteriormente, os conceitos de *capacity design*.

Gradualmente, as estratégias de inspeção, ensaio e diagnóstico passaram a integrar as intervenções, deslocando o foco das ações corretivas pontuais para a ampliação da vida útil das estruturas. Nesse cenário, o controle da corrosão das armaduras assumiu papel predominante, tornando essencial a definição do momento adequado para intervenção, especialmente durante a fase de propagação dos processos corrosivos, em consonância com o modelo proposto por Tuutti, em 1982.

Figura 5 – Modelo básico de degradação por corrosão das armaduras embebidas no concreto.



Fonte: autores, com base em Tuutti (1982).

A década final do século XX foi marcada por intensa atividade de pesquisa voltada à correlação entre resultados de ensaios de durabilidade e avaliação do estado de conservação das estruturas existentes, na qual profissionais brasileiros participaram ativamente. Nesse período, órgãos federais e estaduais ligados à infraestrutura viária, como o DNIT (antigo DNER, 1980), passaram a desenvolver manuais de inspeção e classificação do estado de conservação de obras de arte especiais, ainda que baseados em metodologias predominantemente empíricas.

Apesar da expansão técnica e mercadológica do setor, persistia a ausência de formação acadêmica específica em recuperação estrutural – à exceção de algumas iniciativas nos países nórdicos. Os temas relacionados à degradação do concreto armado, agentes agressivos e mecanismos de deterioração passaram a ser abordados apenas de forma parcial nas disciplinas de Tecnologia do Concreto, sem a consolidação de uma formação integrada voltada às intervenções em estruturas existentes.

5. A CONSOLIDAÇÃO DO CONCEITO DE DESEMPENHO NO NOVO MILÊNIO

A consolidação do conceito de desempenho estrutural decorre da integração entre os requisitos de resistência, rigidez e durabilidade, exigindo abordagem abrangente que se inicia na inspeção da estrutura e se estende ao diagnóstico, à avaliação da capacidade resistente, ao eventual dimensionamento de reforços e à previsão da vida útil remanescente após a intervenção.

Essa abordagem possui caráter necessariamente multidisciplinar e elevado grau de subjetividade, especialmente nas etapas de inspeção e diagnóstico, para as quais não existem procedimentos universais plenamente consolidados. Embora haja propostas metodológicas consistentes, a avaliação de estruturas existentes permanece fortemente dependente da experiência técnica e da interpretação do inspetor.

As inspeções baseiam-se, em geral, na análise documental da estrutura, na observação visual das manifestações patológicas, em ensaios *in situ* e na identificação de vulnerabilidades inerentes à tipologia estrutural. O conhecimento para a formulação do diagnóstico resulta, portanto, da integração entre histórico documental, qualidade das inspeções e informações resultantes de ensaios. Nesse contexto, a interpretação dos dados obtidos em campo e sua incorporação à análise estrutural constituem atividades complexas e frequentemente não consensuais.

Segundo os já citados Jörg Schneider e Ton Vrouwenvelder (2017), a segurança de uma estrutura existente não representa uma propriedade intrínseca, mas a interpretação técnica de seu estado de conservação e comportamento estrutural. Dessa forma, avaliações distintas podem coexistir legitimamente, refletindo diferentes níveis de experiência, conhecimento e informação disponível. Ainda assim, a prática demonstra que a subjetividade inerente ao diagnóstico pode ser mitigada pela ampliação do conhecimento objetivo sobre a estrutura, mediante inspeções aprofundadas, investigação documental, ensaios e comparação com casos similares. A confiabilidade passa, então, a constituir ferramenta fundamental de calibração das decisões técnicas.

Intervir em estruturas existentes exige, portanto, elevado nível de conhecimento sobre o objeto analisado. Investigar, inspecionar, monitorar e ensaiar representam etapas essenciais para a gestão da confiabilidade da informação e para a redução das incertezas associadas ao diagnóstico e à intervenção. Quanto maior o nível de conhecimento adquirido, maior a confiabilidade da avaliação estrutural e menor a necessidade de penalizações excessivas nos coeficientes de incerteza adotados.

Sob essa perspectiva, o desempenho estrutural relaciona-se diretamente à capacidade da construção de manter, ao longo da vida útil prevista, níveis aceitáveis de segurança, funcionalidade e durabilidade sob condições de risco controlado, conforme discutido por Jan Bijen (2003).

No Brasil, a incorporação mais consistente desses conceitos ocorreu com a revisão da NBR 6118 em 2003, que introduziu critérios associados à vida útil de projeto (VUP) e à classificação da agressividade ambiental (CAA). A norma passou a relacionar a durabilidade das estruturas de concreto armado a parâmetros como relação água/cimento, resistência à compressão mínima e cobrimento das armaduras, visando à mitigação dos efeitos da carbonatação e da penetração de cloretos, agentes agressores mais frequentes para os componentes estruturais em concreto armado.

De forma objetiva, a NBR 6118 estabelece que as estruturas de concreto devem ser projetadas e executadas de modo a conservar, durante sua vida útil prevista e sob as condições ambientais consideradas em projeto, níveis adequados de segurança, estabilidade e aptidão em serviço.

6. AS EXIGÊNCIAS E OS DESAFIOS PARA ACOMPANHAR O ESTADO-DA-ARTE

A evolução das intervenções em estruturas existentes intensificou-se a partir da década de 1990, impulsionada pelo avanço simultâneo das pesquisas em durabilidade, confiabilidade e resiliência estrutural. Esse desenvolvimento evidenciou a insuficiência dos regulamentos originalmente voltados às construções novas e exigiu a reformulação dos modelos normativos aplicáveis às estruturas existentes.

Nesse contexto, destacam-se os Eurocódigos, implantados a partir de 2007 nos países da comunidade europeia (regulados em pleno a partir de 2010, por via de documento CEN/TC 250) e posteriormente adotados, total ou parcialmente, em diversos países da África, Ásia, Europa Oriental e América do Sul. A regulamentação europeia passou a contemplar as estruturas existentes de forma mais sistemática, especialmente por meio da parte 3 do Eurocódigo 8.

O EC8-3 introduziu abordagem inovadora ao relacionar os coeficientes de incerteza e os níveis de segurança estrutural ao grau de conhecimento disponível sobre a estrutura existente. O conceito incorpora informações históricas da construção, intervenções anteriores, inspeções, levantamentos geométricos e caracterização físico-mecânica dos materiais, estabelecendo relação direta entre confiabilidade da avaliação e qualidade da informação disponível.

Paralelamente, consolidou-se a necessidade de regulamentação específica para produtos e sistemas de reparo e reforço estrutural. Entra assim em vigor, em 2009, a série EN 1504 (dez partes), considerada referência internacional para intervenções em estruturas de concreto. A norma define responsabilidades técnicas de projetistas, fornecedores, executores e proprietários, estabelecendo critérios integrados de desempenho estrutural, durabilidade, aplicação e acabamento.

A parte 9 da EN 1504, dedicada aos princípios gerais de utilização de produtos e sistemas, consolidou os onze princípios fundamentais aplicáveis à proteção, reparo, reforço e manutenção de estruturas de concreto armado, integrando os conceitos clássicos de segurança, funcionalidade e estética associados à tríade vitruviana: firmitas, utilitas e venustas (Perrault, 1684).

A regulamentação europeia passou, assim, a atribuir ao projetista a plena responsabilidade pela definição das estratégias de intervenção, cabendo aos fornecedores garantir o desempenho especificado dos materiais e aos executores assegurar sua correta aplicação. Aos proprietários e usuários compete a manutenção das condições de conservação ao longo da vida útil da estrutura.

Nas últimas duas décadas, o desenvolvimento de novos materiais e técnicas de reforço estrutural impulsionou revisões conceituais. Destacam-se, nesse cenário, os estudos para a segunda geração dos Eurocódigos, conduzidos pelo CEN, com maior ênfase em estruturas existentes, bem como os Model Codes publicados pela *fib* em 2010 e 2020. Este último representa avanço significativo ao propor abordagem integrada para construções novas e existentes, abrangendo ensino, pesquisa e prática profissional sob fundamentos conceituais unificados.

A regulamentação norte-americana apresenta abordagem menos abrangente. Merece destaque o ACI CODE-552, publicado em 2025, que referencia o Eurocódigo 2, o Model Code 2010 e o International Existing Building Code (IEBC) de 2024. O documento enfatiza a necessidade de atualização do desempenho estrutural de edificações concebidas segundo critérios normativos obsoletos.

No Brasil, ainda não existe regulamentação específica e integrada para intervenções em estruturas existentes. A prática fundamenta-se na aplicação combinada das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, especialmente as NBR 6118, NBR 14931 e NBR 15575, complementadas por normas de manutenção, gestão de reformas, recomendações técnicas e manuais especializados, com destaque para os documentos produzidos pela ABECE.

No caso das obras de arte especiais, a regulamentação brasileira permanece fragmentada, concentrando-se principalmente nas NBR 9452 (2019) e NBR 16230 (2013), além de manuais técnicos emitidos por órgãos federais, estaduais e municipais. O sistema também demanda maior uniformização dos critérios de avaliação do estado de conservação dos diferentes componentes estruturais, incluindo elementos de concreto, juntas de dilatação e aparelhos de apoio.

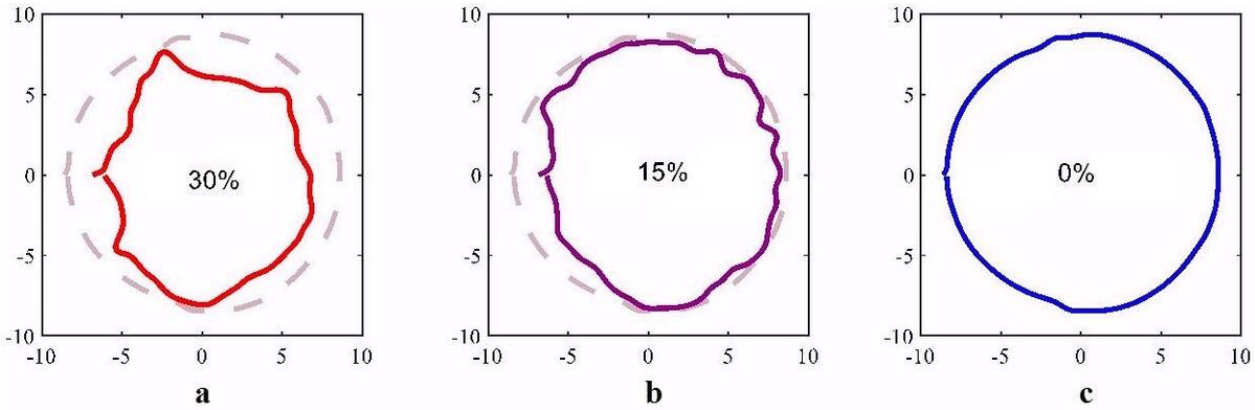
Destaca-se, nesse contexto, a recente iniciativa da ABECE (2026) voltada à qualificação técnica para gestão e inspeção de obras de arte especiais, reforçando a necessidade de formação universitária específica em intervenções em estruturas existentes desde os cursos de graduação (bacharelato) em Engenharia Civil.

7. O MERCADO DE INTERVENÇÃO EM CONSTRUÇÕES EXISTENTES E A FORMAÇÃO REQUERIDA

A década em que vivemos obriga, em qualquer tipo de atividade e, muito particularmente, no pulsante mercado da Construção Civil, atualização muito frequente do conhecimento e aprendizagem, exigindo que sejam formadas bases de dados sobre intervenções passadas e atuais, regulamentos, histórico de intervenções, e registos, de processos de monitoração estrutural, fotográficos e/ou videográficos, com recurso à equipamento de alta resolução.

Esta aprendizagem deve ser selecionada em função dos *inputs* e contemplar rigoroso questionamento dos *outputs*, por forma a tornar-se uma ferramenta poderosa, como o trabalho de banco de imagens de barras corroídas para avaliação do diâmetro equivalente que integra o DEMSA Protocol (2022).

Figura 6 – Exemplos de redução da seção transversal de barras por corrosão.



Fonte: DEMSA Protocol (2022).

O mercado exige a concretização da integração, para a qual é fundamental que os processos de *machine-learning* sejam rápida e confiavelmente integrados no universo da avaliação de construções existentes, o que requer formação de base e conhecimento, para que qualquer experiência possa ser traduzida em melhoria de desempenho.

Um bom exemplo do quão avançado pode ser o recurso aos métodos preditivos a partir do aprendizado de máquina é a muografia para caracterização físico-mecânica do concreto. Trata-se de uma técnica de imageamento baseada em múons cósmicos, que são partículas produzidas quando raios siderais interagem com a atmosfera terrestre. Assim, é possível perceber a densidade de um material de forma não destrutiva ao se utilizar a atenuação ou o desvio de um feixe de múons ao atravessar um bloco material, emergindo assim uma nova visibilidade técnica da matéria, princípio que vai ao encontro das perspectivas de Foucalt (1966), organizando o conhecimento.

Neste domínio, Corradetti (2026) apresenta um estudo em *Neural Network* para caracterização da densidade do concreto (de granulometria controlada) e, a partir de então, do módulo de elasticidade e da resistência à compressão do material, com recurso a detetores planares de múons (e de ruído específico) e à rotina de inversão de Monte Carlo (que contou com a participação, na análise dos *inputs* e *outputs*, de Thomaz Ripper, um dos autores deste texto). Este trabalho mostrou que a muografia, se adequadamente tratada, é capaz de levar a resultados consistentes, permitindo alvitrar que se trata de um ótimo método não-destrutivo de caracterização do concreto e trazendo maior exigência para os futuros (próximos) regulamentos e realizações (projetos, obras).

Figura 7 – Posicionamento dos planares para a contagem de múons.



Fonte: Corradetti e Costa (2026).

Há que ter presente que o mercado da construção civil brasileiro atravessa um momento de elevada complexidade estrutural. De um lado, tem-se um parque edificado envelhecendo rapidamente; de outro, enfrenta-se uma redução no interesse pela formação em engenharia civil e uma crescente escassez de mão-de-obra qualificada para atuar nas obras e serviços especializados.

Dado emblemático do cenário presente (futuro?) é que cerca de 80% dos edifícios que existirão em 2050 já estão construídos atualmente. Isso demonstra que o futuro das cidades dependerá menos da expansão urbana tradicional e muito mais da capacidade de recuperar, adaptar, manter e requalificar as estruturas já existentes.

É notório que o setor da construção civil enfrenta, no Brasil (e não só) uma crise de capital humano. Estudos recentes da FGV IBRE (2024) apontam que mais de 70% das empresas de construção tiveram dificuldades para contratar trabalhadores qualificados, especialmente em atividades técnicas e especializadas. A consequência direta é o aumento dos custos da construção, atrasos em cronogramas e maior pressão sobre produtividade e qualidade das obras.

Essa dificuldade não se limita apenas à mão-de-obra operacional. Existe desinteresse pela carreira de Engenharia Civil, motivado por fatores como percepção de baixa valorização profissional, elevada carga de formação, insegurança do mercado e perda de atratividade da profissão.

O relatório "O Futuro das Engenharias no Brasil 2023", elaborado pela MÚTUA (2023), entre 2014 e 2020, aponta uma queda de mais de 30% nas matrículas em cursos presenciais de engenharia nas universidades particulares; o mesmo estudo aponta que 39,2% dos cursos são considerados de "baixo desempenho", segundo avaliação do ENADE. O resultado é um possível déficit futuro de profissionais qualificados justamente quando o país mais necessitará de especialistas capazes de lidar com recuperação estrutural, retrofit e manutenção de edificações envelhecidas.

O problema se torna ainda mais crítico quando se constata que grande parte das grades curriculares dos cursos de Engenharia Civil no Brasil continua fortemente direcionada à construção nova (*fib* , 2018), com pouca ênfase em disciplinas relacionadas à manutenção predial, durabilidade, inspeção, patologia das construções, *retrofit* e reabilitação estrutural. Constata-se, portanto, existir uma desconexão entre a realidade futura do mercado e a formação técnica atualmente oferecida pela generalidade das universidades. Na prática, o país caminha para um cenário em que:

- • as edificações envelhecem;
- • aumenta a necessidade de recuperação e modernização do patrimônio construído;
- • diminui a disponibilidade de engenheiros e técnicos qualificados;
- • e cresce a escassez de mão de obra especializada na execução das obras.

8. CONCLUSÕES

Pretendeu-se, com as reflexões tratadas neste documento, evidenciar fato relevante para toda a cadeia da Construção Civil, na medida da maior demanda no investimento de reconversão de construções exigentes, gerando um desafio que exige mudanças na formação acadêmica, maior valorização técnica e qualificação específica de profissionais voltados para caracterização, retrofit e manutenção das estruturas existentes. Os autores entendem que a alteração de ordem necessária deverá, a curto/médio prazo, passar pela revisão curricular incluindo, em simultâneo:

- nas cadeiras de licenciatura relacionadas com Materiais de Construção e Tecnologia do Concreto, incluir a abordagem aos mecanismos de agressão ao concreto e ao aço e os consequentes mecanismos de degradação, introduzindo, de imediato, os conceitos de durabilidade e vida útil das construções;
- também na cadeira de Materiais de Construção, dar a conhecer, aprofundadamente, materiais de última geração, como os compósitos que estão a ser utilizados em armaduras convencionais e para reforço de estruturas existentes (vide a reabilitação do estádio do Maracanã, cujo projeto é da autoria de Thomaz Ripper, 2013), com discussão das características físico-mecânicas tanto das matrizes aglutinantes (resinas epóxidas, de viniléster, poliamidas, cimentícias), como das armaduras resistentes (fibras de carbono, vidro, aramida, poliéster) dos sistemas FRPs;

- nas cadeiras de Projeto e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado, valorizar a os temas de verificação da capacidade residual das estruturas e sua consequente resiliência, da ductibilidade e da capacidade de redistribuição de esforços, chamando a atenção para a necessidade de se ter maior conhecimento sobre as estruturas existentes como um meio de poder controlar a atribuição dos coeficientes de incerteza, reduzindo, de forma direta, o custo das intervenções;
- incluir o dimensionamento coma armaduras alternativas (FRPs), originais ou de reforço;
- demonstrar o desafio do aprendizado contínuo, identificando as máquinas como instrumentos a serviço do profissional e não o contrário, como muitas vezes já acontece, como no recurso a *softwares* de cálculo automático, muitas vezes utilizados sem critério.

9. REFERÊNCIAS

ABECE – Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural – **Recomendação Técnica: Gestão de Obras de Arte Especiais**. São Paulo, 2026.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 9452: Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13597: Procedimento para Qualificação de Mangoteiro de Concreto Projetado Aplicado por Via Seca**. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 14931: Execução de Estruturas de Concreto Armado, Protendido e com Fibras – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2023.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 14279: Concreto Projetado – Aplicação por Via Seca – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1999.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos para os Sistemas Estruturais**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR15575-2: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 16230: Inspeção de Estruturas de Concreto** – **Qualificação e Cerificação de Pessoal – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2013.

ACI CODE-552-25 – **Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures – Code and Commentary**. ACI, Farmington Hills, Michigan, USA, 2025.

ALLENTOWN N2 Pneumatic Gun. Disponível em https://www.putzmeister.com/web/northamerica/product-detail/-/product/2701/n2-pneumatic-gun. Acesso em março de 2026.

ANDERSON, R. – **Down to Earth**: Martin Heidegger, Le Corbusier, and the Question of Dwelling, Essentially. Architectural Histories, Volume 9, Issue 1, Birkbeck, University of London, UK, 2021.

BIJEN, J. – **Durability of Engineering Structures: Design, Repair and Maintenance**. Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 2003.

CASTELO, A. M.; VIANA, I.; SILVA, H. C. – **Escassez de Mão de Obra Eleva Custos na Construção**. FGV IBRE, São Paulo, 2024.

CEB Information Bulletin 72. **CEB-FIP International Recommendations for the Design and Construction of Concrete Structures. Vol. 1 – Principles and Recommendations**. Paris, 1970.

CEB Information Bulletin 73. **CEB-FIP International Recommendations for the Design and Construction of Concrete Structures. Vol. 2 – Appendixes (Proposals)**. Paris, 1970.

CEB Bulletin n.º 148. **Durability of Concrete Structures. State-of-the-Art Report**. Paris, 1982.

CEB Bulletin 162. **Assessment of Concrete Structures and Design Procedures for Upgrading (Redesign).** Paris, 1983.

CEB Design Guide – **Durable Concrete Structures**. Thomas Telford Services Ltd, London, UK, 1989.

CEN/ISQ – **NP EN 1504 (partes 1 a 10) – Produtos e Sistemas para a Proteção e Recuperação de Estruturas de Betão – Definições, Requisitos, Controle de Qualidade e Avaliação de Conformidade**. Lisboa, Portugal.

CEN/ISQ – **NP EN 1998-3 – Eurocódigo 8 – Projeto de Estruturas para Resistência aos Sismos – Parte 3: Avaliação e Reabilitação de Edifícios** (EC8-3). Lisboa, Portugal.

CEN/TC 250 – **Structural EuroCodes. Policy Guidelines and Procedures**. Brussels, Belgium, 2010.

CORRADETTI, D.; COSTA, J. P. – **A Physics-Informed Neural Network for Muographic Density Estimation in Concrete**. EPIA, Funchal, Ilha da Madeira, Portugal, 2026.

DEMSA Protocol: Casprini, Elena; Passoni, Chiara; Marini, Alessandra; Bartoli, Gianni – **Deterioration Effect Modelling for Structural Assessment of RC Buildings – Deterioration Effect Modelling for Structural Assessment**. Buildings Journal, MPDI, Basel, Switzerland, 2022;

DNER – Departamento Nacional de Nacional de Estradas de Rodagem – Instituto de Pesquisas Rodoviárias – **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (IPR-709)**. Rio de Janeiro, 1980.

fib STRUCTURAL CONCRETE – MATTHEWS, S.; BIGAJ-VAN VLIET, A.; WALRAVEN, J.; MANCINI. G.; DIETEREN, G. – *fib* Model Code 2020. **Towards a General Code for Both New and Existing Concrete Structures**. Lausanne, Switzerland, 2018.

FOUCAULT, M. – **Les Mots et les Choses** – Éditions Gallimard, Paris, France, 1966.

JRC/EUROPEAN COMMISSION – **New European Technical Rules for the Assessment and Retrofitting of Existing Structures. Policy Framework**. Luxembourg, 2015.

INTERNATIONAL CODE COUNCIL (ICC) – **International Existing Building Code (IEBC)**. Washington D.C., USA, 2024;

Ministério da Educação, Resolução nº 2, de 24 de abril – **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Gradução em Engenharia**. Brasília, 2019

MÚTUA – Caixa de Assistência dos Profissionais do CREA. **O Futuro das Engenharias no Brasil** [livro eletrônico]. Brasília, Distrito Federal, 2023.

PERRAULT, C. – **Les Dix Livres d'Architecture de Vitruvius... Seconde Edition, Reveuë, Corrigée, & Augmentée**. J. B. Coignard, Paris, France, 1684.

RAUPACH, M.; BÜTTNER, T – **Concrete Repair to EN 1504. Diagnosis, Design, Principles and Practice**. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 2014.

REVISTA AMIGA. Disponível em https://festivalesdempb.blogspot.com/2011/01/1970-v-festival-internacional-da-cancao.html. Acesso em março de 2026.

RIPPER, T.; COSTA, J. P.; ALMEIDA, I. R. – **Shotcrete Classic: The Setenave Dry Docks Rehabilitation**. ASA (American Shotcrete Society), Shotcrete Magazine, Wakefield, Massachussets, USA, 2004.

RIPPER, T. – **Projeto e Acompanhamento da Obra de Reforço Estrutural do Estádio do Maracanã**. CINPAR, João Pessoa, 2013.

SCHNEIDER, J.; VROUWENVELDER, T. – **Introduction to Safety and Reliability of Structures**, 3.rd edition – IABSE, Zurich, Switzerland, 2017.

TUUTI, K. – **Corrosion of Steel in Concrete**. CBI Forskning/Research, Cement och. Betonginstitutet, Stockholm, Sweden, 1982.

CAPÍTULO 18 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/5855eh86
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/vn127492

RETROFIT ESTRUTURAL SUSTENTÁVEL: CAMINHO PARA A DESCARBONIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Victor Hugo de Souza Rolo[1*], Glauco José de Oliveira Rodrigues[1], Luiz Octavio de Souza Bueno de Oliveira[2], José Guilherme Santos da Silva[3]
*Autor de contato: rolovictorhugo@gmail.com

1 Departamento de Estruturas e Fundações (ESTR), Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Brasil.
2 Departamento de Construção Civil e Transportes (DCCT), Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Brasil.
3 Departamento de Estruturas e Fundações (ESTR), Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Brasil.

RESUMO

Em construções de concreto é comum a ocorrência de manifestações patológicas que indicam a ocorrência de processos de degradação e queda de desempenho estrutural. Normalmente, esta degradação é fruto de ausência de um plano eficaz de manutenção preditiva, acarretando custos de conservação atrelados à execução de obras de reparo corretivas, mais onerosas do que a execução de processos preventivos que possam garantir segurança aos usuários e maior expectativa de vida útil. Nesse cenário, surgem questões sobre as vantagens econômicas entre demolição, reconstrução ou recuperação estrutural. Além disso, a tendência de modificação do uso de construções existentes, o retrofit, levanta o dilema entre optar pela adaptação estrutural ou seguir com a demolição e construção de uma nova estrutura. Assim sendo, este trabalho objetivou investigar experimentalmente a eficiência de produtos específicos para a recuperação, o reparo e o reforço de estruturas de concreto, através da criação de elementos estruturais em escala reduzida degradados, reparados com esses produtos e submetidos a testes de compressão para atestar que seu uso garante uma resistência equivalente à de uma estrutura íntegra. Concluiu-se que a presença dos produtos reparadores nas estruturas degradadas não garante resistência à compressão igual ou superior as estruturas íntegras de concreto, isso se deve, possivelmente, a particularidades da metodologia de estudo desenvolvida.

Palavras-chave: retrofit, sustentabilidade, recuperação, concreto, argamassa.

ABSTRACT

In concrete constructions, it is common to have pathological manifestations that indicate the occurrence of degradation processes and a drop in structural performance. Usually, this degradation is the result of the absence of an effective predictive maintenance plan, resulting in conservation costs linked to the execution of corrective repair works, more costly than the execution of preventive processes that can ensure safety for users and longer life expectancy. In this scenario, questions arise about the economic advantages between demolition, reconstruction, or structural recovery. In addition, the trend of modifying the use of existing buildings, retrofit, raises the dilemma between opting for structural adaptation or proceeding with the demolition and construction of a new structure. Therefore, this work aimed to experimentally investigate the efficiency of specific products for the recovery, repair and reinforcement of concrete structures, through the creation of degraded small-scale structural elements, repaired with these products and submitted to compression tests to attest that their use guarantees a resistance equivalent to that of an intact structure. It was concluded that the presence of repair products in degraded structures does not guarantee compressive strength equal to or superior to intact concrete structures; this is possibly due to particularities of the study methodology developed.

Keywords: retrofit, sustainability, recovery, concrete, mortar.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A versão de 2023 da NBR 6118 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento) foi a primeira a abordar de maneira consistente a questão da durabilidade do concreto, alinhando-se às diretrizes desenvolvidas pelo comitê europeu do concreto desde o final dos anos 1970. No entanto, estruturas mais antigas, anteriores a essa versão da norma, foram projetadas e construídas com base em recomendações vigentes desde a década de 1940, que ignoravam boas práticas para mitigar a perda de desempenho das estruturas ao longo do tempo, frente às ações agressivas do meio ambiente.

Além disso, a falta ou ineficiência de planos de manutenção preditiva nessas construções mais antigas - muitas ainda em uso - resultou em manifestações patológicas indicativas de degradação estrutural, o que pode comprometer sua integridade, tornando-as mais vulneráveis a ações solicitantes mais exigentes.

Ao mesmo tempo, a tendência de reaproveitamento de estruturas existentes para novos usos - o chamado retrofit - exige que essas estruturas sejam verificadas conforme as recomendações normativas atuais. Muitas vezes, o novo projeto impõe aumento de carga (por exemplo, na transformação de edificações residenciais em hospitalares), o que demanda o reforço de elementos estruturais como lajes, vigas, pilares e fundações. Ainda assim, a reutilização de estruturas com reforços pontuais é favorável à sustentabilidade, pois evita a demolição de edificações cuja construção já consumiu grandes quantidades de insumos naturais (como calcário, argila, areia, brita, água e minérios de ferro) e gerou significativa emissão de dióxido de carbono (aproximadamente 410 quilogramas de CO_2 para cada metro cúbico de concreto produzido).

Ao aproveitar total ou parcialmente as estruturas e sistemas prediais existentes, evita-se a devolução desses insumos na forma de resíduos da construção civil, que ocupam espaço em aterros e frequentemente requerem tratamento específico para o descarte.

1.2. RETROFIT E SUSTENTABILIDADE

Retrofit consiste na modernização de edificações existentes, adaptando-as às exigências normativas atuais e aumentando sua eficiência, sem necessidade de reconstrução, o que demandaria mais recursos não renováveis e resultaria em maior emissão de dióxido de carbono. Essa prática pode ser aplicada não apenas em edificações, mas também em obras de arte especiais (pontes, viadutos e passarelas) e outras construções de concreto. Com a construção civil focada em promover maior sustentabilidade em suas operações nos últimos anos, o retrofit se alinha perfeitamente a esse esforço.

Essa prática não só impede que os materiais, energia e esforços anteriormente investidos nas estruturas sejam desperdiçados, mas também promove a recuperação e o novo uso de edificações antigas, preservando o patrimônio histórico e permitindo a readequação funcional. Isso possibilita a modernização dos edifícios e contribui para a eficiência energética, além de reduzir o consumo de água e materiais e evitar a geração de resíduos provenientes da demolição de construções mais antigas.

Cada vez mais recomendada por engenheiros e construtores comprometidos com a sustentabilidade, essa solução exige, no entanto, a mitigação de problemas estruturais e manifestações patológicas em estruturas antigas. Isso demanda conhecimento técnico e a elaboração de projetos específicos de reparação e reforço.

Como muitas vezes o projeto estrutural original está perdido e as características mecânicas dos materiais constituintes das edificações se alteram com o tempo - com o concreto ganhando resistência por um lado, mas perdendo desempenho devido à ação dos agentes agressivos ambientais - surge a necessidade de caracterização física e mecânica dos elementos existentes. Além disso, é fundamental testar, experimentalmente, a eficiência e durabilidade dos produtos de engenharia e estudar os métodos corretos de aplicação.

Do ponto de vista estrutural, é necessário avaliar numericamente o comportamento global das estruturas retrofitadas frente aos seus novos usos, utilizando modelagem estrutural com uso do BIM, por meio de ferramentas computacionais apropriadas.

Adicionalmente, novos materiais e técnicas devem ser desenvolvidos e estudados experimentalmente para obtenção de parâmetros dos materiais de forma minimamente invasiva - os chamados "ensaios não destrutivos". Também é essencial avaliar a eficiência de técnicas de reforço comumente utilizadas (estruturas metálicas e de madeira, encamisamento, e uso de materiais alternativos como fibras de carbono e vidro, além de polímeros, entre outros).

1.3. JUSTIFICATIVA

Tais soluções estão sendo cada vez mais indicadas por engenheiros e consultores para tratamento de patologias diagnosticadas em especificações técnicas, projetos para reforço de estruturas e retrofit de edificações.

Neste diapasão, a indústria da química do concreto acena com soluções industrializadas com relação custo-benefício cada vez mais viáveis e aplicáveis às mais diversas demandas nesta área tais como:

- Argamassas reparadoras;
- Grautes;
- Microconcretos;
- Inibidores de corrosão;
- Anodos de sacrifício;
- Pontes de aderência etc.

Surge a necessidade de caracterizá-los física e mecanicamente, testar a eficiência, durabilidade e métodos corretos de aplicação em diversas condições de uso, bem como deve-se avaliar numericamente o comportamento global de estruturas retrofitadas através de modelagem estrutural BIM de edificações com uso de ferramentas computacionais apropriadas para esta finalidade.

Adicionalmente, devem ser desenvolvidos e estudados experimentalmente novos materiais, com o desenvolvimento e introdução de técnicas minimamente invasivas destinados a recuperação, reparo e reforço de estruturas retrofitadas além de também ser necessário estudar mais profundamente a eficiência de técnicas e soluções comumente praticadas para reforço (fibra de carbono, estruturas metálicas, estruturas de madeira, encamisamento etc.).

1.4. OBJETIVOS

A) Firmar convênio com empresas fornecedoras nacionais de produtos industrializados para custeio de insumos destinados a recuperação, reparo e reforço de estruturas de concreto com foco no fornecimento de grautes, microconcretos, argamassas reparadoras e materiais convencionais para construção em concreto (cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e demais aditivo);

B) Execução de todos os ensaios necessários para caracterização dos materiais cimentícios (finura, umidade, granulometria etc.) e moldados (resistência à compressão); Comparação dos resultados obtidos entre os elementos estruturais íntegros e os elementos estruturais reparados.

2. METODOLOGIA

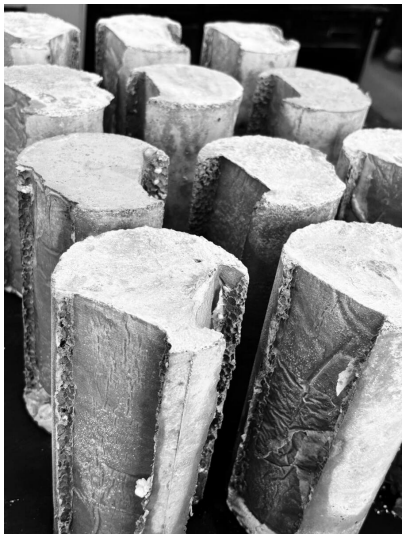
Foi firmada uma parceria com duas empresas fornecedoras nacionais de produtos industrializados, a Tecnosil e a Concrevit, com o objetivo de viabilizar o custeio de insumos destinados à recuperação e ao reforço das estruturas de concreto. A Tecnosil forneceu os materiais de reparo que foram estudados, a argamassa TECNOPOL AP 60 e o graute TECNOGROUT 250, e a Concrevit, cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e aditivos diversos.

A metodologia de estudo, desenvolvida pelos autores devido a carência de normas técnicas para esta finalidade na engenharia civil, consistiu na fabricação e no ensaio de resistência à compressão (NBR 5739) de cinco grupos de corpos de prova cilíndricos, cada um com 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura. O primeiro grupo foi composto por corpos de prova íntegros de argamassa; o segundo, por corpos de prova íntegros de graute; o terceiro, por corpos de prova íntegros de concreto; o quarto, por corpos de prova de concreto com falhas simuladas, posteriormente reparadas com argamassa; e o quinto, por corpos de prova de concreto com falhas simuladas, posteriormente reparadas com graute.

Os corpos de prova íntegros de concreto tiveram como objetivo representar estruturas sem degradações estruturais, enquanto os corpos de prova com falhas simuladas representaram estruturas degradadas. Buscou-se determinar a resistência à compressão de todos os espécimes e comparar os resultados dos corpos de prova íntegros de concreto com os dos reparados, a fim de verificar se estruturas reparadas com argamassa ou graute mantêm características de resistência à compressão semelhantes às de estruturas íntegras. Os corpos de prova íntegros de argamassa e de graute, por sua vez, tiveram seus resultados comparados com os valores especificados pela fabricante.

Os corpos de prova que seriam posteriormente preenchidos com a argamassa e com o graute foram confeccionados com duas falhas simuladas, feitas através da inserção de paralelepípedos de isopor nos moldes antes da aplicação do concreto (Figura 1), com comprimento e largura iguais, porém espessuras diferentes. Apesar de serem reparados com materiais distintos, todos os espécimes simuladamente degradados eram geometricamente iguais.

Figura 1 – Aspecto final dos moldes antes da aplicação do concreto



Fonte: os autores.

Figura 2 – Aspecto dos corpos de prova após o tempo de cura do concreto e a retirada dos paralelepípedos de isopor



Fonte: os autores.

É importante ressaltar que após a retirada dos paralelepípedos de isopor (Figura 2), com o término do tempo de cura do concreto, foi necessário realizar um apicoamento das regiões que seriam aplicados os materiais de reparo, para que tivessem maior aderência com o material original. Esse apicoamento foi realizado com o uso de uma furadeira acoplada a uma escova circular com haste (Figura 3). A Figura 4 apresenta a aparência dos corpos de prova após a aplicação dos reparos.

Figura 3 – Superfície de reparo após o apicoamento



Fonte: os autores.

Figura 4 – Aspecto dos corpos de prova após a aplicação dos reparos



Fonte: os autores.

Além dos ensaios de resistência à compressão (NBR 5739), foi realizado o ensaio de resistividade elétrica (NBR 9204 e Figura 5) de todos os grupos de corpos de prova mencionados no primeiro parágrafo desta seção, com exceção dos íntegros de argamassa e íntegros de graute. A finalidade desse experimento é de verificar a resistência oferecida pelo concreto à passagem de uma corrente elétrica. Um maior valor de resistividade elétrica indica um concreto menos suscetível a corrosões em suas armaduras, um menor, mais propenso a corrosões.

Figura 5 – Corpo de prova tendo sua resistividade elétrica aferida



Fonte: os autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Antes de descobrir os resultados encontrados, é necessário conhecer os valores de resistência à compressão dos materiais fornecidos pela Tecnosil (Tecnosil, 2024). Esses dados estão expressos em megapascal (sigla “MPa”) na Tabela 1.

Tabela 1 – Resistencia à compressão prevista dos materiais de reparo estudados

Material	Resistencia à compressão		
	1 dia	7 dias	28 dias
Argamassa TECNOPOL AP 60	35 MPa	40 MPa	60 MPa
Graute TECNOGROUT 250	35 MPa	60 MPa	70 MPa

Fonte: os autores.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados com 7, 14, 21 e 28 dias de idade dos corpos de prova, para que pudessem ser analisadas as curvas de ganho de resistência ao longo do tempo dos espécimes íntegros de concreto e dos reparados, comparando-as. Em cada dia de ensaio foram rompidos um corpo de prova íntegro de argamassa, um íntegro de graute, quatro íntegros de concreto, quatro reparados com argamassa e quatro reparados com graute, totalizando 56 espécimes rompidos ao fim da pesquisa.

A Tabela 2 apresenta os valores de resistência à compressão atingidos pelos grupos de corpos de prova íntegros de argamassa e íntegros de graute, seguidos pela diferença percentual entre os resultados da Tabela 1 e da Tabela 2. Valores negativos representam que a resistência foi inferior a informada pela fabricante, positivos, que foi superior. Os dados mostrados estão expressos em megapascal (sigla “MPa”).

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos grupos de corpos de prova íntegros de argamassa e íntegros de graute

Grupo de corpos de prova	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Íntegros de argamassa	54,4 MPa	57,7 MPa	45 MPa	56,3 MPa
Diferença percentual	+26,5 %	-	-	-6,6 %
Íntegros de graute	44,7 MPa	56,6 MPa	44,9 MPa	65,7 MPa
Diferença percentual	-34,2 %	-	-	-6,5 %

Fonte: os autores.

Ao comparar a Tabela 2 com a Tabela 1, chega-se à conclusão de que os dois grupos estudados tiveram grande diferença dos valores fornecidos pela fabricante aos 7 dias e quase nenhuma aos 28 dias.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos grupos de corpos de prova íntegros de concreto, reparados com argamassa e reparados com graute. É importante lembrar que, diferentemente dos dados da Tabela 2, onde foi rompido apenas um espécime por grupo em cada dia, agora foram rompidos quatro espécimes por grupo em cada dia. Assim dizendo, os valores apresentados a seguir são uma média aritmética dos resultados encontrados.

Nas linhas abaixo dos dois grupos de reparados, há a diferença percentual entre valores do grupo íntegros de concreto e eles. Valores negativos, representam que a média do grupo de reparados teve resistência inferior à dos íntegros de concreto; valores positivos, resistência maior.

Os dados de resistência à compressão apresentados estão expressos em megapascal (sigla “MPa”).

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos grupos de corpos de prova íntegros de concreto, reparados com argamassa e reparados com graute e suas respectivas diferenças percentuais

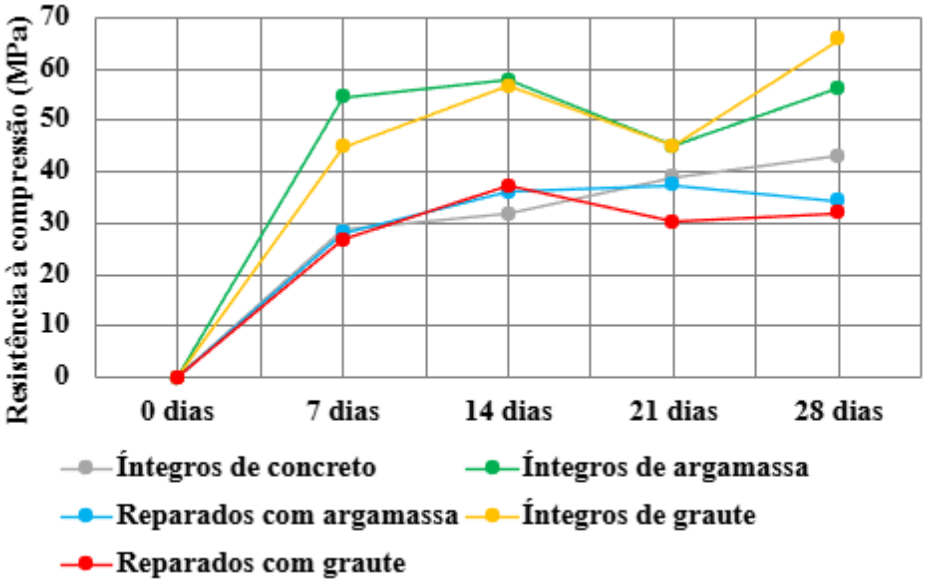
Grupo de corpos de prova	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Íntegros de concreto	28,7 MPa	31,8 MPa	38,9 MPa	43 MPa
Desvio padrão	1,35 MPa	4,48 MPa	3,34 MPa	5,20 MPa
Reparados com argamassa	28,1 MPa	36,1 MPa	37,4 MPa	34,3 MPa
Desvio padrão	5,08 MPa	3,18 MPa	4,85 MPa	4,87 MPa
Diferença percentual	-2,1 %	+13,5 %	-3,9 %	-20,2 %
Reparados com graute	26,7 MPa	37,3 MPa	30,2 MPa	31,9 MPa
Desvio padrão	4,05 MPa	3,47 MPa	6,10 MPa	4,65 MPa
Diferença percentual	-7,0 %	+17,3 %	-22,4 %	-25,8 %

Fonte: os autores.

Ao analisar as diferenças percentuais entre os grupos dos reparados e íntegros de concreto, chega-se à conclusão de que o desempenho dos reparados, em geral, foi abaixo do esperado.

A Figura 5 apresenta um gráfico onde o eixo das abscissas é representado pelos dias em que foram rompidos os espécimes e o eixo das ordenadas seus respectivos valores de resistência à compressão, expressos em megapascal (sigla “MPa”). Lembrando, o valor de resistência à compressão é uma média aritmética de todos os corpos de prova daquele grupo rompidos naquele dia, com exceção dos íntegros de argamassa e íntegros de graute, onde foi rompido apenas um de cada tipo em cada dia de ensaio.

Figura 5 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão



Fonte: os autores.

Ao analisar o gráfico, é possível concluir que as curvas de resistência dos corpos de prova íntegros de argamassa e íntegros de graute tiveram desempenho de acordo com o especificado pela fabricante. Já os corpos de prova reparados tiveram desempenho insatisfatório quando comparados ao dos corpos de prova íntegros de concreto.

3.2. Resultados dos ensaios de resistividade elétrica

O ensaio de resistividade elétrica foi executado aos 28 dias de idade dos corpos de prova, momentos antes do ensaio de resistência à compressão. Nele foram estudados quatro corpos de prova do grupo dos íntegros de concreto e de cada grupo dos reparados. O experimento foi baseado na norma técnica ABNT NBR 9204.

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos no experimento por cada espécime estudado. Nas linhas abaixo dos dois grupos de reparados, há a diferença percentual entre valores dos íntegros de concreto e do grupo imediatamente acima. Valores negativos representam que o grupo de reparados teve resistividade elétrica inferior à dos íntegros de concreto, valores positivos, resistividade elétrica maior, e nulos, que não houve alteração.

A coluna com o título “Média” apresenta a média aritmética dos quatro corpos de prova estudados por cada grupo, para uma análise mais precisa acerca dos resultados.

Os corpos de prova estudados estão representados na tabela pela sigla “CP n.º”, sendo “n.º” o número do espécime em questão. Os resultados estão em quilo-ohm por centímetro (sigla “KΩ/cm”).

Tabela 4 - Resultados do ensaio de resistividade elétrica dos grupos de corpos de prova íntegros de concreto, reparados com argamassa e reparados com graute e suas respectivas diferenças percentuais

Grupo de corpos de prova	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	Média
Íntegros de concreto	24,2 KΩ/cm	24,3 KΩ/cm	22,3 KΩ/cm	22,4 KΩ/cm	23,3 KΩ/cm

Reparados com argamassa	26,5 KΩ/cm	21,4 KΩ/cm	23,2 KΩ/cm	22,1 KΩ/cm	23,3 KΩ/cm
Diferença percentual	-8,7 %	+13,6 %	-3,9 %	+1,4 %	0,0 %
Reparados com graute	21,9 KΩ/cm	22,1 KΩ/cm	23,3 KΩ/cm	23,6 KΩ/cm	22,7 KΩ/cm
Diferença percentual	+10,5 %	+10,0 %	-4,3 %	-5,1 %	+2,5 %

Fonte: os autores.

Ao analisar os resultados presentes na tabela, a conclusão que se chega é de que os corpos de prova reparados com argamassa e com graute não tiveram mudança significativa nos valores de resistividade elétrica. O experimento foi realizado sem quaisquer dados base para uma comparação e teve o intuito justamente de verificar se havia algum aumento devido à presença dos materiais de reparo. Esses materiais possuem inibidor de corrosão em sua composição química, realizando uma proteção eletroquímica da estrutura, garantindo que os processos de degradação não ocorram futuramente. Por esse motivo, tomou-se a decisão de atestar se poderia ocorrer algum tipo de aumento nos valores de resistividade elétrica, o que, em geral, não ocorreu.

4. CONCLUSÕES

A análise dos dados obtidos através dos procedimentos experimentais permite chegar a duas conclusões distintas: a respeito dos corpos de prova íntegros de argamassa e de graute e dos corpos de prova reparados com argamassa e graute.

Os espécimes íntegros de argamassa TECNOPOL AP 60 e graute TECNOGROUT 250 atenderam as estimativas de resistência à compressão estipuladas pela fabricante.

Os espécimes reparados com esses materiais não atingiram os valores especificados. Isso mostra que o seu desempenho geral não depende exclusivamente de suas propriedades, mas também de fatores mais específicos, como: geometria dos corpos de prova, controle dimensional das cavidades de reparo, espessura dos reparos e, principalmente, modo de aplicação e tratamento das interfaces entre o substrato de concreto e os reparos.

Por essas razões, os resultados deste estudo devem ser considerados apenas para o método utilizado, sendo necessária a realização de ensaios mais complexos através da confecção de elementos estruturais em escala reduzida, como vigas e pilares, para uma conclusão mais assertiva a respeito do desempenho da argamassa TECNOPOL AP 60 e do graute TECNOGROUT 250.

5. AGRADECIMENTOS

Por meio desta seção, agradecemos a todos os que viabilizaram e auxiliaram na execução desta pesquisa, sendo eles: Higor de Souza Moura e Regis Sandro Bazuco, representantes da Concrevit, Douglas Reis Pinto e Robson de Assis de Oliveira, representantes da Tecnosil e a todos os técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – **Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9204: Concreto endurecido – **Determinação da resistividade elétrico-volumétrica – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

Tecnosil Soluções Especiais. (2024). **TECNOPOL AP60**: argamassa polimérica com inibidor de corrosão incorporado e ponte de aderência para reparos estruturais. Ficha Técnica. Edição 01/2024. Itupeva/SP, Brasil.

Tecnosil Soluções Especiais. (2024). **TECNOGROUT 250**: graute de alta precisão e resistência. Ficha Técnica. Edição 01/2024. Itupeva/SP, Brasil.

PARTE II

MATERIAIS

28 capítulos

CAPÍTULO 19 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/w7zmkx58
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/v72zy876

INFLUÊNCIA DO SILICATO DE ETILA EM BARRAS DE ARGAMASSA NA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-SÍLICA

Bárbara Rebonato Carrijo[1]*, Leticia Oliveira Almanso[1], Eloise Aparecida Langaro[1], Andressa Gobbi[2], Giovana Costa Réus[2]
*Autor de contato: ba.r.carrijo@gmail.com

[1] Universidade Estadual de Ponta Grossa
[2] Universidade Federal do Paraná

RESUMO

A reação álcali-sílica (RAS) é uma manifestação patológica que compromete a durabilidade de estruturas de concreto, sendo a expansão um de seus principais efeitos deletérios. Neste estudo, avaliou-se a influência da adição de silicato de etila na mitigação da RAS em barras de argamassa, por meio da análise da expansão e da variação de massa. Foram moldadas barras de argamassa contendo agregado potencialmente reativo, com incorporação de silicato de etila nos teores de 5% e 10%, além de um traço de referência, sendo os ensaios conduzidos conforme o método acelerado de barras de argamassa. Os resultados indicaram que a incorporação de silicato de etila em teores iguais ou superiores a 5% promoveu redução significativa da expansão, associada a menores variações de massa, quando comparada à argamassa de referência. Observou-se ainda que o teor de 10% apresentou desempenho compatível com os limites normativos de expansão, evidenciando o potencial do silicato de etila como agente mitigador da reação álcali-agregado.
Palavras-chave: reação álcali-agregado; silicato de etila; expansão; variação de massa.

ABSTRACT

The alkali–silica reaction (ASR) is a pathological phenomenon that compromises the durability of concrete structures, with expansion being one of its main deleterious effects. In this study, the influence of ethyl silicate addition on the mitigation of ASR in mortar bars was evaluated through the analysis of expansion and mass variation. Mortar bars containing potentially reactive aggregate were cast, with the incorporation of ethyl silicate at contents of 5% and 10%, in addition to a reference mix, and the tests were conducted in accordance with the accelerated mortar bar method. The results indicated that the incorporation of ethyl silicate at contents equal to or greater than 5% promoted a significant reduction in expansion, associated with lower mass variations, when compared to the reference mortar. It was also observed that the 10% content presented performance compatible with normative expansion limits, demonstrating the potential of ethyl silicate as a mitigating agent for the alkali–aggregate reaction.
Keywords: alkali–aggregate reaction; ethyl silicate; expansion; mass variation.

1. INTRODUÇÃO

A durabilidade das estruturas de concreto está diretamente associada à estabilidade química de seus constituintes ao longo do tempo. Dentre os mecanismos de deterioração de origem interna, a reação álcali-agregado (RAA) destaca-se como uma das manifestações patológicas que pode comprometer o desempenho estrutural mesmo na ausência de agentes externos agressivos. A reação álcali-sílica (RAS) é um tipo de RAA, na qual ocorre um processo químico entre formas reativas de sílica presentes nos agregados e os componentes alcalinos dissolvidos na solução dos poros do concreto, na presença de umidade (Fournier; Bérube, 2000; Mehta; Monteiro, 2008). Como consequência dessa reação, formam-se produtos expansivos que provocam aumento das tensões internas, podendo resultar em fissuração, deslocamentos e redução da durabilidade do concreto (Mehta; Monteiro, 2008). Esses danos podem se manifestar ao longo do tempo e, em determinados casos, comprometer a eficiência estrutural dos elementos afetados.

Entre os métodos de avaliação do potencial reativo dos agregados, o ensaio acelerado de barras de argamassa, normalizado no Brasil pela NBR 15577-4 (ABNT, 2018), é amplamente empregado como ensaio preliminar, por permitir uma análise do comportamento expansivo em curto período de tempo.

Nos últimos anos, diferentes estratégias de mitigação da RAS têm sido investigadas, incluindo o uso de materiais pozolânicos, estes já consolidados na literatura, além do uso de aditivos químicos e tratamentos superficiais voltados à redução da permeabilidade do concreto (Gomes, 2008; Shafaatian *et al.,* 2013; Magri; Berton, 2016; Saha *et al.,* 2018; Langaro 2023). Nesse contexto, o silicato de etila tem despertado interesse devido à sua capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio (Sandrolini *et al.*, 2012) presente na matriz cimentícia, promovendo a formação de produtos do tipo silicato de cálcio hidratado e contribuindo para o bloqueio de poros e microfissuras (Silva; Liborio, 2005; Langaro, 2023). Tal comportamento pode limitar a penetração de água e a mobilidade iônica, interferindo diretamente na cinética da reação álcali-agregado.

Embora existam indícios do potencial do silicato de etila como agente mitigador da RAS (Brown, 2009; Langaro, 2023), ainda são escassos os estudos que avaliem de forma direta sua influência no comportamento expansivo de barras de argamassa submetidas ao ensaio acelerado, especialmente quando associada à análise simultânea da variação de massa.

Diante desse contexto, o presente artigo tem como objetivo avaliar a influência da adição de dois tipos de silicato de etila (TS40 e TS28) na mitigação da reação álcali-agregado em barras de argamassa, por meio da análise da expansão e da variação de massa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os materiais utilizados foram cimento CP-V de alta resistência inicial (ARI), agregado potencialmente reativo (Tabela 1) e silicato de etila (TEOS) na forma de TS28 e TS40 (Tabela 2). O agregado foi obtido da região de Curitiba e foi coletado o resíduo de processamento de britas (popularmente conhecido como pó de pedra). Para os ensaios ele foi peneirado e utilizado nas

frações requeridas da NBR 15577-4 (ABNT, 2018b), caracterizado conforme a NBR 16916 (ABNT, 2021a) e NBR 16973 (2021b).

Tabela 1 – Características do agregado.

Tipo de agregado	Massa específica (g/cm³)	Absorção (%)	Teor de material pulverulento (%)
Gnaisse	2,59	1,0	0,34

Fonte: os autores.

Tabela 2 – Características físico-químicas dos silicato de etila.

Tipo de silicato	Composição química	Aspecto	Densidade (g/cm³) 20 °C	% SiO_2	Viscosidade a 25 °C (cps)	Índice de refração a 25 °C	Proporção de sólidos[1] (%)
Siliethyl TS28	Orto silicato de tetraetila	Claro	0,93 a 0,94	Mín. 28	Aprox. 1	1,381 a 1,383	10,91
Siliethyl TS40	Poli etóxi siloxano	Claro	1,055 a 1,065	Mín. 40	Aprox. 5	1,393 a 1,398	53,13

Fonte: Adaptado de Datiquim (2019) e os autores[1].

2.2 Métodos

As barras de argamassa foram moldadas conforme os procedimentos estabelecidos na NBR 15577-4 (ABNT, 2018), com traço de 1: 2,25, relação água/cimento de 0,47, sendo 440 g de cimento (CP V ARI), 206,8 g de água e 990 g de agregado miúdo. A preparação das argamassas foi realizada em misturador mecânico de eixo vertical. O TEOS foi adicionado a água de amassamento, quando aplicável, respeitando os teores de 5% e 10% em relação à massa de cimento.

Figura 2 – Procedimento de mistura conforme NBR 15577-4 (ABNT, 2018b).



Fonte: os autores.

A argamassa fresca foi lançada em moldes prismáticos metálicos com dimensões de 25 × 25 × 280 mm. As barras de argamassa permaneceram nos moldes por 24 ± 2 horas, armazenadas em câmara úmida com temperatura controlada (aproximadamente 30 °C). Após esse período, procedeu-se à desmoldagem e à imersão das barras em água a 80 °C, onde permaneceram por 24 horas, até a realização da leitura inicial de comprimento e da pesagem, utilizadas como referência para o

cálculo da expansão e da variação de massa ao longo do ensaio. Em seguida, as barras de argamassa foram imersas em solução de hidróxido de sódio (NaOH) com concentração de 1 N, mantida à temperatura constante de 80 °C, em recipiente apropriado e fechado, garantindo condições homogêneas de ensaio. As barras permaneceram completamente submersas durante todo o período de exposição (Figura 2).

Figura 2 – Barras de argamassa moldadas, imersas no tanque de RAA e relógio comparador utilizado para verificação da expansão.



Fonte: os autores.

O ensaio acelerado de barras de argamassa foi realizado conforme os procedimentos estabelecidos na NBR 15577-4 (ABNT, 2018), método equivalente ao ASTM C1260, com o objetivo de avaliar a expansão associada à reação álcali-agregado. Paralelamente, a variação de massa das barras de argamassa foi monitorada ao longo do ensaio, visando à avaliação do ganho de massa associado à absorção da solução alcalina. As pesagens foram realizadas em balança eletrônica de precisão, sendo efetuadas antes da imersão das barras na solução de hidróxido de sódio (NaOH), valor adotado como massa inicial para o cálculo da variação de massa ao longo do ensaio.

As medições de expansão e variação de massa foram realizadas nas idades de 16 e 30 dias (conforme requisito da NBR 15577-4), com leituras intermediárias, sempre aproximadamente no mesmo horário, de modo a minimizar variações associadas à temperatura. A expansão longitudinal foi determinada como a variação relativa do comprimento em relação à leitura inicial, sendo os resultados expressos em porcentagem. Para cada traço, os valores apresentados correspondem à média das leituras das três barras ensaiadas.

Os resultados de expansão foram analisados de forma comparativa entre a argamassa de referência e aquelas com incorporação de silicato de etila, sendo também confrontados com os limites normativos estabelecidos pela NBR 15577-1 (ABNT, 2018a) para a classificação do potencial reativo do agregado.

Durante o período de exposição à solução alcalina, as barras foram retiradas do meio de imersão nos mesmos instantes das leituras de expansão para a realização das pesagens. Antes de cada medição, as superfícies dos corpos de prova foram secas superficialmente com pano absorvente, de forma a remover o excesso de solução e evitar interferências nos valores de massa.

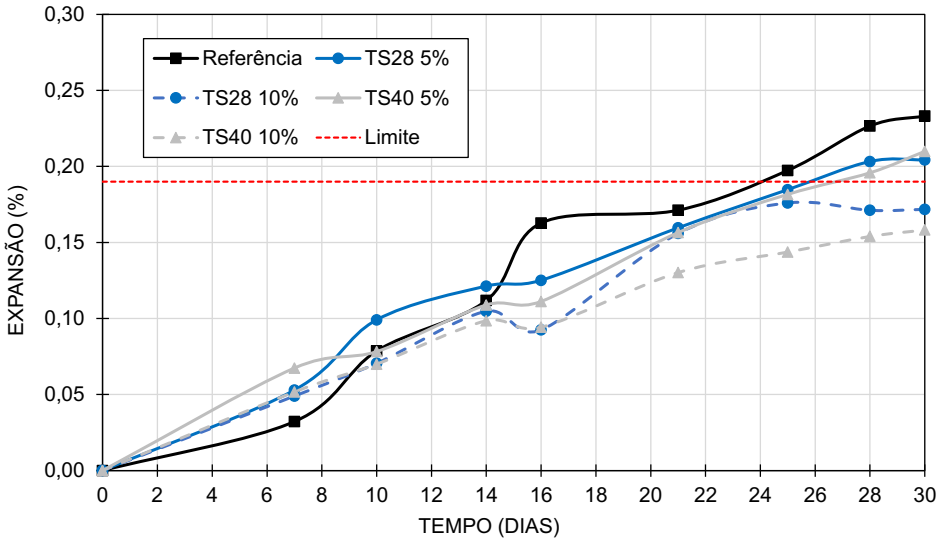
A variação de massa foi calculada pela diferença entre a massa medida em cada idade e a massa

inicial, sendo expressa de forma relativa em porcentagem. Os valores apresentados correspondem à média das três barras ensaiadas para cada traço analisado. A análise da variação de massa foi empregada como parâmetro complementar à expansão, permitindo correlacionar o comportamento expansivo das barras com o grau de absorção da solução alcalina e contribuir para a interpretação do efeito do silicato de etila na mitigação da reação álcali-agregado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta a evolução da expansão média das barras de argamassa ao longo do ensaio acelerado, para o traço de referência e para as argamassas com incorporação de silicato de etila nos teores de 5% e 10%. Observa-se que a argamassa de referência apresentou comportamento expansivo crescente ao longo do período de exposição à solução alcalina, atingindo valores superiores aos limites estabelecidos pela NBR 15577-1 (ABNT, 2018a) para a classificação de agregados potencialmente reativos, e superiores as barras de argamassa contendo o TEOS.

Figura 3 – Expansão média das barras de argamassa ao longo do tempo.



Fonte: os autores.

A incorporação de silicato de etila promoveu redução significativa da expansão das barras de argamassa quando comparada ao traço de referência. Para o teor de 5%, verificou-se diminuição 12,4% e 10% da taxa de expansão, para as barras com TS28 e TS40 respectivamente, ao final do ensaio, indicando interferência do aditivo na cinética da reação álcali-agregado. Esse efeito tornou-se ainda mais evidente para o teor de 10%, cujos valores de expansão se mantiveram abaixo do limite normativo estabelecido para o ensaio acelerado, reduzindo 26,3% (TS28) e 32,13% (TS40), aos 30 dias de análise.

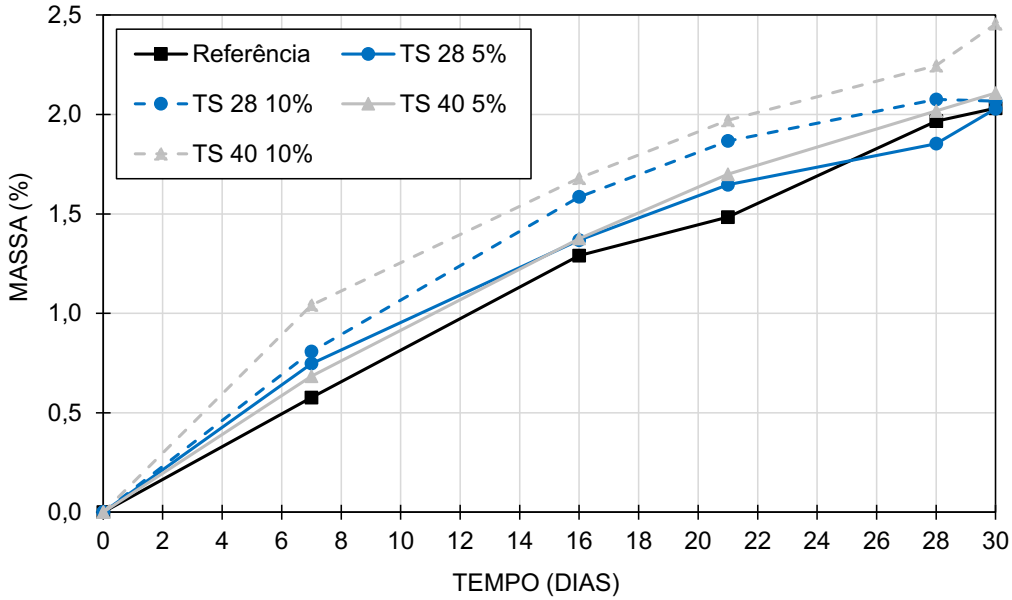
Esse comportamento sugere que o silicato de etila pode contribuir para a mitigação da reação álcali-sílica, possivelmente por limitar a disponibilidade de água e de íons hidroxila no interior da matriz cimentícia, fatores essenciais para o desenvolvimento da reação expansiva. Brown (2009) propôs que o TEOS pode ser utilizado como fonte de sílica em sistemas cimentícios e que seu mecanismo de reação, baseado na hidrólise, consome íons hidroxila da solução de poros, reduzindo a alcalinidade disponível para a reação álcali-sílica. Além disso, o TEOS pode reagir com o $Ca(OH)_2$ presente no sistema, formando C–S–H. Sandrolini *et al.* (2012) demonstraram a ocorrência de

reação pozolânica entre o silicato de etila e a cal hidratada, resultando na formação de C–S–H. Resultados semelhantes foram reportados por Pigino *et al.* (2012), Guo *et al.* (2018) e Langaro (2023), quando o silicato de etila foi aplicado como tratamento de superfície em concretos.

A reação do TEOS (Cihlar, 1993; Brown, 2008; Sandrolini *et al.,* 2012) ocorre em duas etapas principais. A primeira é chamada de hidrólise, na qual os grupos etóxi são progressivamente substituídos por grupos hidroxila, levando à formação de silanóis, frequentemente representadas como ácido ortossilícico ($Si(OH)_4$). Após a hidrólise, ocorre a polimerização, caracterizada por reações de condensação entre grupos silanol, resultando na formação de uma rede tridimensional de sílica gel. Nesse processo, o pH exerce forte influência sobre a cinética e o mecanismo das reações (Cihlar, 1993). Em meio alcalino, a hidrólise ocorre rapidamente, com consumo de íons hidroxila da solução de poros, o que pode reduzir a alcalinidade e, consequentemente, limitar a dissolução da sílica reativa do agregado e a mobilidade iônica no sistema. No caso do ensaio, além da alcalinidade intrínseca da argamassa, o ambiente é fortemente alcalino devido à presença de solução de NaOH (1 M). A elevada disponibilidade de íons Na^+ pode acelerar a dissolução da sílica formada a partir do TEOS e da sílica do agregado potencialmente reativo, além de alterar a estrutura do gel de sílica formado e modificar a distribuição de poros da argamassa (Wang *et al.,* 2020).

A Figura 4 apresenta a variação de massa das barras de argamassa ao longo do ensaio acelerado. Todas as argamassas apresentaram aumento progressivo de massa ao longo do tempo, associado à absorção da solução alcalina. A análise conjunta dos resultados de expansão e variação de massa não evidencia uma relação direta entre a absorção da solução alcalina e o comportamento expansivo das barras de argamassa, uma vez que as argamassas que apresentaram menores valores de expansão foram justamente aquelas que exibiram maiores ganhos de massa ao longo do ensaio. Esse comportamento indica que, neste sistema, a quantidade de solução absorvida não é o fator determinante para a expansão observada.

Figura 4 – Variação de massa das barras de argamassa ao longo do tempo.



Fonte: os autores.

Diferentemente do efeito de um tratamento de superfície, a incorporação interna do TEOS não limita o acesso da solução de NaOH ao interior da argamassa. No entanto, com o desenvolvimento

das reações, a presença do TEOS pode contribuir para a redução da mobilidade iônica, bem como para a alteração da natureza dos produtos formados, incluindo o gel associado à reação álcali-sílica e os produtos de hidratação da matriz cimentícia. Essas modificações podem resultar em uma microestrutura mais refinada e em géis menos propensos à expansão, mesmo na presença de elevada absorção de solução alcalina. Além disso, tais efeitos estão diretamente relacionados à quantidade de TEOS disponível no sistema, o que explica a ausência de uma correlação direta entre variação de massa e expansão neste caso.

4. CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi avaliar a adição de dois diferentes tipos de silicato de etila (TS40 e TS28) na mitigação da reação álcali-agregado em barras de argamassa.

Os resultados obtidos indicaram que a incorporação de silicato de etila promoveu uma redução significativa da expansão das barras submetidas ao ensaio acelerado de reação álcali-agregado, em comparação com o traço de referência. Observou-se que o aumento do teor de silicato de etila resultou em melhor desempenho na mitigação da expansão, sendo o teor de 10% o mais eficaz entre as dosagens avaliadas, independentemente do tipo de silicato de etila utilizado.

A análise da variação de massa mostrou que não houve correlação direta entre a absorção da solução alcalina e o comportamento expansivo das argamassas, indicando que a redução da expansão não está associada à limitação do ingresso da solução no material.

Esses resultados sugerem que a incorporação interna do TEOS, associada à elevada alcalinidade do ensaio, pode alterar a cinética da reação álcali-sílica, influenciar a dissolução da sílica reativa do agregado, bem como os processos de hidrólise e polimerização do silicato de etila. Adicionalmente, tais alterações podem contribuir para a redução da mobilidade iônica e para a modificação da natureza dos produtos formados, resultando em uma menor propensão à expansão associada à reação álcali-sílica.

Quanto à aplicabilidade, os resultados indicam que o silicato de etila possui potencial como estratégia complementar de mitigação da reação álcali-sílica, especialmente em situações com uso inevitável de agregados reativos. Em termos práticos, sua aplicação mostra-se promissora em estruturas como fundações, barragens, pavimentos e obras hidráulicas, nas quais a durabilidade frente à RAS é crítica. Ressalta-se, contudo, a necessidade de validação em concreto e em escala real, incluindo avaliação de desempenho a longo prazo e viabilidade técnico-econômica.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Paraná, à Universidade Estadual de Ponta Grossa, ao Laboratório de Materiais de Construção e ao Laboratório Multiusuário (LABMU) pelo apoio prestado no desenvolvimento dos ensaios. Agradecem, ainda, à empresa Datiquim pela disponibilização dos produtos utilizados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-1: **Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto**. Rio de Janeiro, 2018a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-4: **Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 4: Método acelerado para determinação da expansão em barras de argamassa.** Rio de Janeiro, 2018b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916: **Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16973: **Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 m por lavagem.** Rio de Janeiro, 2021b.

BROWN, P. W. **Pore reducing technology for concrete.** United States Patent Application US 2008/0163797 A1. Depósito: 14 jun. 2006. Concessão: 10 jul. 2008.

BROWN, P. W. **Methods of reducing hydroxyl ions in concrete pore solutions.** United States Patent US 7,608,143 B2. Depósito: 21 jun. 2005. Concessão: 27 out. 2009.

CIHLÁŘ, J. **Hydrolysis and polycondensation of ethyl silicates: 1. Effect of pH and catalyst on on the hydrolysis and polycondensation of tetraethoxysilane (TEOS).** Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, v. 70. n. 3, p. 239-251, 1993.

DATIQUIM. Catálogo TS28 e TS40 – Hergrand. São Paulo, 2019.

FOURNIER, B.; BÉRUBÉ, M.-A. **Alkali-aggregate reaction in concrete: a review of basic concepts and engineering implications.** Canadian Journal of Civil Engineering, v. 27, n. 2, p. 167–191, 2000.

GOMES, E. A. O. **Recuperação estrutural de blocos de fundação afetados pela reação álcali-agregado - a experiência do Recife**. 2008. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

GUO, Z.; HOU, P.; HUANG, S.; XIE, N.; CHENG, X.; SINGH, L. P.; VALERIYA, S.; VIKTORIYA, N. **Surface Treatment of concrete with tetraethil orthosilicate, Na2SiO3 and Silane: Comparasion of their effects on durability.** Ceramics-Silikáty, v. 62, n. 4, p. 332–341, 2018.

ITAMBÉ. Relatórios de ensaio – Cimento CP V-ARI. Disponível em: https://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-ensaio/?pro=371. Acesso em: abr. 2025.

LANGARO, E. A. **Estudo de diagnóstico e inibição da reação álcali-sílica utilizando cinza volante e proteção de superfície com silicatos**. 2023. 196 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

MAGRI, C. H. R.; BERTON, R. **Efeito da redução do teor de cimento no desempenho de matrizes e compósitos cimentícios**. 2016. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

PIGINO, B.; LEEMANN, A.; FRANZONI, E.; LURA, P. **Ethyl silicate for surface treatment of concrete – Part II: Characteristics and performance.** Cement and Concrete Composites, v. 34, n. 3, p. 313–321, 2012.

SAHA, A. K.; KHAN, M. N.; SARKER, P. K.; SHAIKH, F. A.; PRAMANIK, A. **The ASR mechanism of reactive aggregates in concrete and its mitigation by fly ash: A critical review.** Construction and Building Materials, Elsevier Ltd, v. 171, p. 743– 758, 2018.

SANDROLINI, F.; FRANZONI, E.; PIGINO, B. **Ethyl silicate for surface treatment of concrete – Part I: Pozzolanic effect of ethyl silicate.** Cement and Concrete Composi**tes**, v. 34, n. 3, p. 306–312, 2012.

SHAFAATIAN, S. M. H.; AKHAVAN, A.; MARAGHECHI, H.; RAJABIPOUR, F. **How does fly ash mitigate alkali-silica reaction (ASR) in accelerated mortar bar test (ASTM C1567)?.** Cement and Concrete Composites, v. 37, p. 143–153, 2013.

SILVA, F. G.; LIBORIO, J. B. L. **Durabilidade do concreto de alto desempenho com sílica de Fe-Si ou silício metálico em ambientes marinhos.** VETOR - Revista De Ciências Exatas E Engenharias, v. 15, n. 2, p. 35–47, 2005.

WANG, J.; HAN, J.; ZHAI, J.; YANG, D. **The effect of different alkaline catalysts on the formation of silica aerogels prepared by the sol–gel approach.** Journal of the Ceramic Society of Japan, v. 128, N. 7, P. 395-403, 2020.

CAPÍTULO 20 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/j30zt588
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/znxgf835

COMPARAÇÃO DE DUAS SOLUÇÕES PARA A RETIRADA DE UMA LINHA DE PILARES EM UMA INDÚSTRIA SEM SOBRECARREGAR FUNDAÇÕES EXISTENTES

Arthur Medeiros[1]*, Leonardo Covatti[2]; Fabiana Völker Mademann[3]; Rui Medeiros[3]
*Autor de contato: arthurmedeiros@utfpr.edu.br

[1] Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR, Curitiba, Brasil
[2] Confienge, Balneário Camboriú, Brasil
[3] Estruturas de Concreto Rui Medeiros, Curitiba, Brasil

RESUMO

Qualquer modificação estrutural não é simples, pois envolve uma análise global da estrutura. A retirada de um pilar de uma edificação demanda por uma solução que redistribua as tensões para os pilares próximos o que pode ultrapassar a capacidade de carga de pilares e fundações. Foram estudadas duas soluções para a retirada de uma linha de pilares em uma indústria, para a ampliação de sua capacidade produtiva sem sobrecarregar as fundações existentes. Tecnicamente as duas soluções se mostraram viáveis, porém o custo da execução foi bastante diferente.
Palavras-chave: reforço estrutural; redistribuição de tensões.

ABSTRACT

Any structural modification is not simple, as it involves a comprehensive analysis of the structure. Removing a collum from a building requires a solution that redistributes the stresses to nearby columns, which can exceed the load-bearing capacity of the pillars and foundations. Two solutions were studied for removing a row of columns in a factory to expand its production capacity without overloading the existing foundations. Technically, both solutions proved viable, but the cost of implementation was significantly different.
Keywords: structural reinforcement; stress redistribution.

1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Modificações estruturais tendem a ser custosas e morosas. Para reforçar estruturas de concreto armado existentes existem técnicas consagradas como incremento da seção transversal de pilares em concreto armado, a utilização de chapas e perfis metálicos, ou o reforço com polímeros reforçados por fibras de carbono. De acordo com Souza e Ripper (1998), o projeto de reforço precisa levar em conta diversos fatores como: a concepção original da estrutura, sua história, os

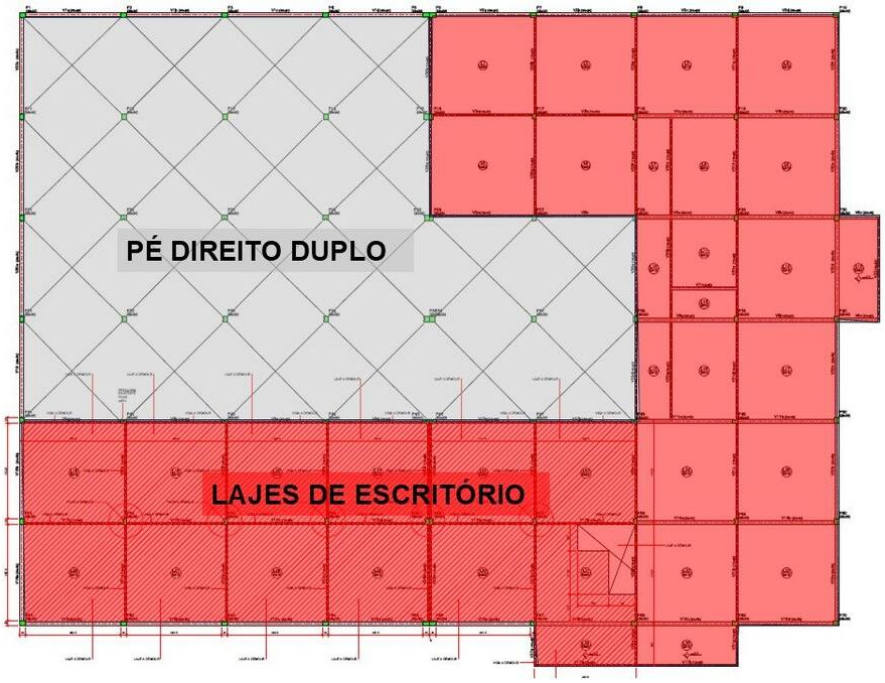
defeitos ou novas exigências e especialmente a disponibilidade de mão de obra e materiais adequados. Além da formação técnica apropriada e criatividade do projetista para o reforço em si.

As técnicas para reforço com estruturas metálicas mistas com concreto armado, são tradicionais e consagradas. Contudo, especialistas em projeto e reforço precisam de décadas de experiência para encontrar soluções viáveis técnica e economicamente.

O que existe de moderno nas soluções de reforço com estruturas mistas de concreto e perfis metálicos, consiste nos métodos de ligação, novas formas de conexão e monitoramento destas ligações (Rill e Fortenbacher, 2024; Rill, 2025).

O estudo de caso aqui apresentado é de uma indústria na região metropolitana de Curitiba com uma estrutura de concreto armado com pilares a cada 5 metros, ocupando uma área de 30 m x 40 m conforme croquis (Figura 1). A indústria em questão tem uma máquina industrial de largura de 4,5 m, comprimento de 25 m e aproximadamente 3,5 m de altura. A edificação em questão foi construída no ano de 1971, a luz das normas vigentes quanto ao projeto de estruturas de concreto. O layout da indústria foi pensado para que a máquina industrial ocupasse uma área entre pilares onde se denomina “pé direito duplo” na Figura 1, com 5,5 m do piso até a laje de cobertura. As áreas vizinhas no pavimento térreo são de operação, entrada de materiais e estoque dos produtos fabricados. O que está demarcado em vermelho no croquis da Figura 1 são lajes de escritório a 2,9 m acima do chão de fábrica.

Figura 1 – Croquis da vista em planta da fábrica

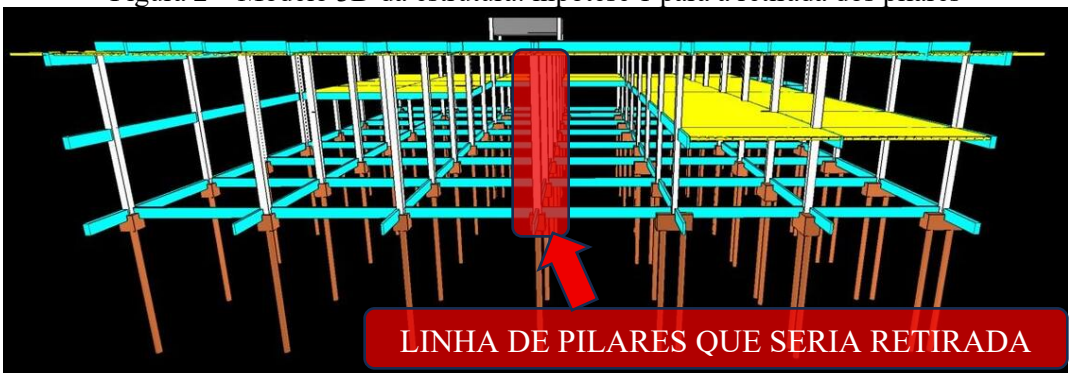


Fonte: os autores

Acontece que a indústria em questão precisava modernizar sua produção e a nova máquina teria largura maior do que os 5 m de vão entre pilares. A primeira solução pensada pela indústria seria remover uma linha de pilares no centro da fábrica, ao lado da máquina industrial e contratar um escritório especializado em estruturas para calcular o reforço que seria necessário nos pilares adjacentes para suportar as vigas e lajes da cobertura que não teriam mais os apoios dos pilares retirados.

Contudo, esta alternativa de retirar os pilares no centro da fábrica teria alguns inconvenientes, tais como: interromper a produção da máquina industrial por pelo menos 3 meses (tempo de desmontar a máquina, executar a obra de reforço e montar a nova máquina industrial. Para avaliar a esta primeira alternativa, foi criado um modelo 3D em software de dimensionamento de estruturas de concreto, a fim de verificar o incremento de carga nos pilares adjacentes aos que seriam retirados, assim como nas fundações, conforme Figura 2.

Figura 2 – Modelo 3D da estrutura: hipótese 1 para a retirada dos pilares

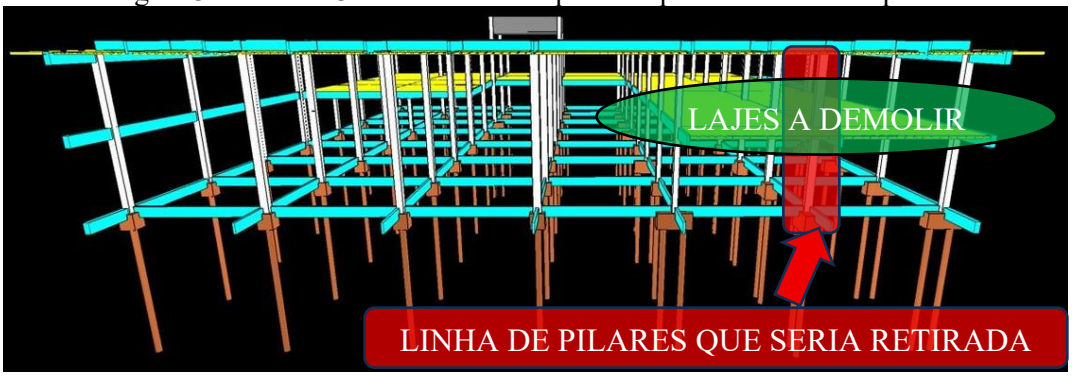


Fonte: os autores

A simulação em software de dimensionamento indicou que além do reforço nos pilares, que poderia ter a seção transversal de concreto aumentada, ou com perfil metálico, demandaria por um reforço de fundação. Tal situação tornaria a obra mais onerosa e morosa.

Foi então que os engenheiros estruturais propuseram uma alternativa mais elegante, considerando o custo, o tempo de intervenção e o funcionamento da fábrica. Se as lajes de escritório, em amarelo à direita da Figura 2, fossem demolidas e a linha de pilares a ser retirada fosse a linha de pilares no meio das lajes, conforme indicado na Figura 3, haveria um alívio nas fundações e nos pilares adjacentes de tal sorte que o reforço para suportar a laje de cobertura poderia ser feito nos pilares e vigas da cobertura utilizando perfis metálicos, sem a necessidade do reforço das fundações. Um reforço metálico é uma solução rápida, leve, limpa e viável. Enquanto as lajes fossem demolidas, os perfis metálicos seriam produzidos, sem esperar pelo tempo de cura de um reforço em concreto. Além disso, a indústria poderia seguir funcionando com a máquina industrial antiga durante o período de obras, durante o período de montagem da máquina industrial nova e as duas máquinas poderiam seguir trabalhando juntas, sem a necessidade de desmontar a máquina antiga.

Figura 3 – Modelo 3D da estrutura: hipótese 2 para a retirada dos pilares



Fonte: os autores

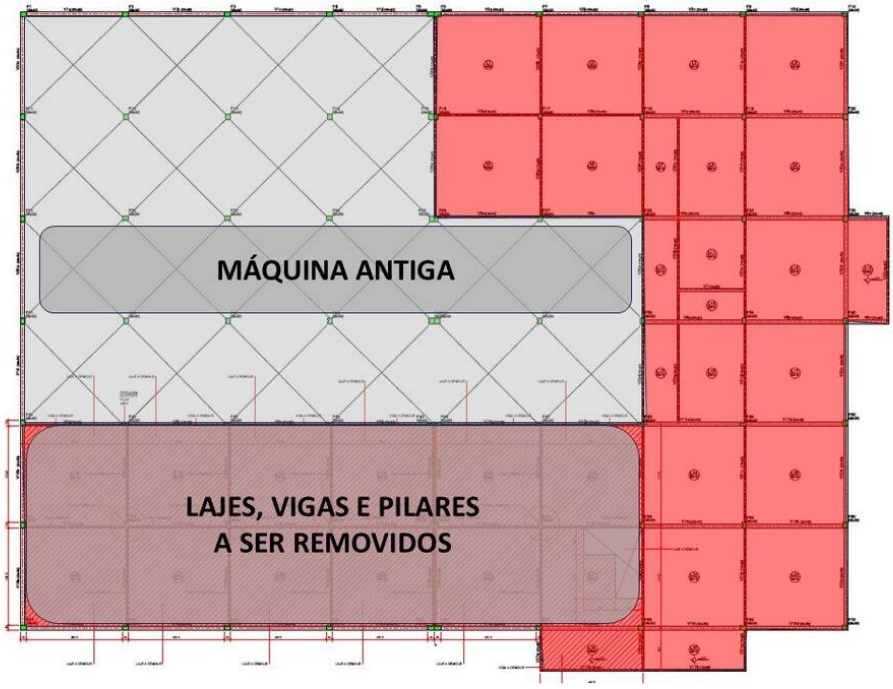
O único inconveniente é que a indústria precisaria ajustar sua logística para trabalhar em uma área menor durante o período de reforço e montagem da nova máquina. Tal solução motivou a empresa a construir um edifício anexo para os escritórios que deixariam de existir com as lajes demolidas.

2. PROJETO DE REFORÇO

2.1 Etapas de obra para o reforço estrutural

O projeto de reforço precisava ser concebido levando em consideração todas as etapas da obra de demolição e reforço, com a preocupação de não danificar as lajes de cobertura acima dos pilares que seriam retirados. Tendo em vista que seriam demolidas as lajes e vigas dos escritórios indicados na Figura 4, a solução construtiva precisava contemplar a demolição e a preservação da laje de cobertura.

Figura 4 – Croquis da planta da fábrica indicando a área de demolição e reforço



Fonte: os autores

Para que a estrutura da fábrica pudesse ser demolida e posteriormente reforçada, primeiramente as lajes foram demolidas (Figura 5a), assim como a escada que dava acesso ao pavimento de

escritórios (Figura 5b). Posteriormente foram demolidas as vigas de sustentação das lajes dos escritórios.

Figura 5 – Demolição das lajes (a) e escada (b)



Fonte: os autores

A sequência foi o escoramento da laje de cobertura, antes da demolição das vigas do pavimento de escritórios e dos pilares, conforme Figura 6. Este procedimento de escoramento da laje foi facilitado, pois as vigas das lajes de cobertura eram invertidas, de tal sorte que o fundo das lajes que aparece na Figura 6 é liso.

Figura 6 – Demolição das lajes (a) e escada (b)



Fonte: os autores

Com as lajes da cobertura escoradas, a próxima etapa foi demolir vigas (Figura 7a) e pilares (Figura 7b). Visando otimizar o tempo da reforma, os elementos estruturais de reforço estavam sendo fabricados enquanto as fases de escoramento da cobertura, demolição das lajes, vigas e pilares aconteciam.

O tempo de obra foi um fator decisivo para a tomada de decisão, pois havia uma multa diária de mais de 1000 Euros caso a nova máquina atrasasse o início do seu funcionamento. Em outras palavras, todo o processo de reforço contratado aconteceu por uma necessidade comercial da empresa de ampliar sua produção, com um prazo de 4 meses desde a compra da nova máquina que

viria da Europa, até a chegada e montagem desta nova máquina na região metropolitana de Curitiba/PR Brasil.

Figura 7 – Demolição das vigas (a) e pilares (b)

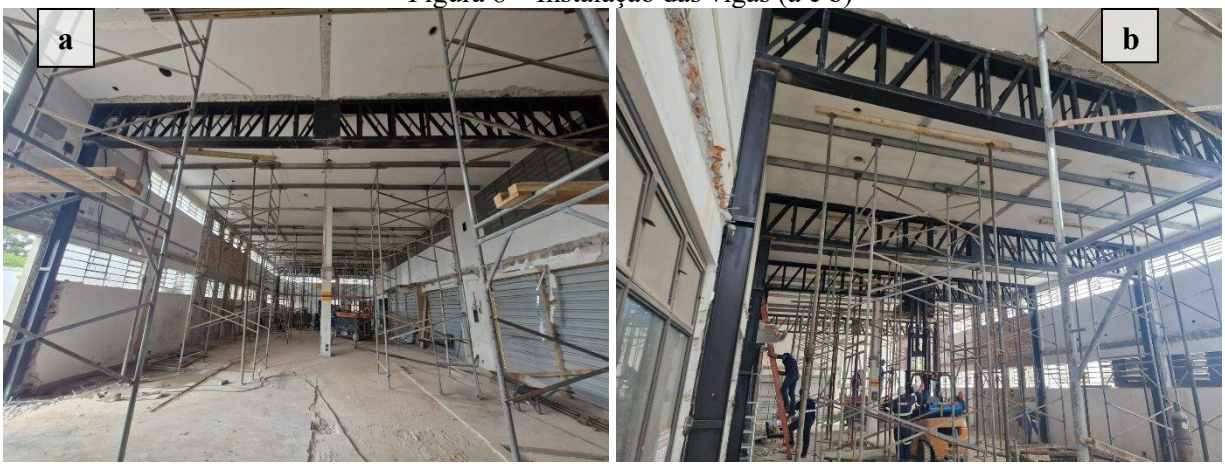


Fonte: os autores

2.2 A execução do reforço estrutural

Para o reforço e sustentação do telhado, optou-se por vigas metálicas treliçadas e pilares em perfis I metálicos. Esta solução traz vantagens de rapidez, segurança, limpeza e facilidade na montagem. O dimensionamento destes elementos estruturais metálicos foi feito segundo as normas apropriadas NBR 8800 (ABNT, 2025) e NBR 14762 (ABNT, 2010). A sequência de montagem de montagem das vigas treliçadas é ilustrada na Figura 8.

Figura 8 – Instalação das vigas (a e b)

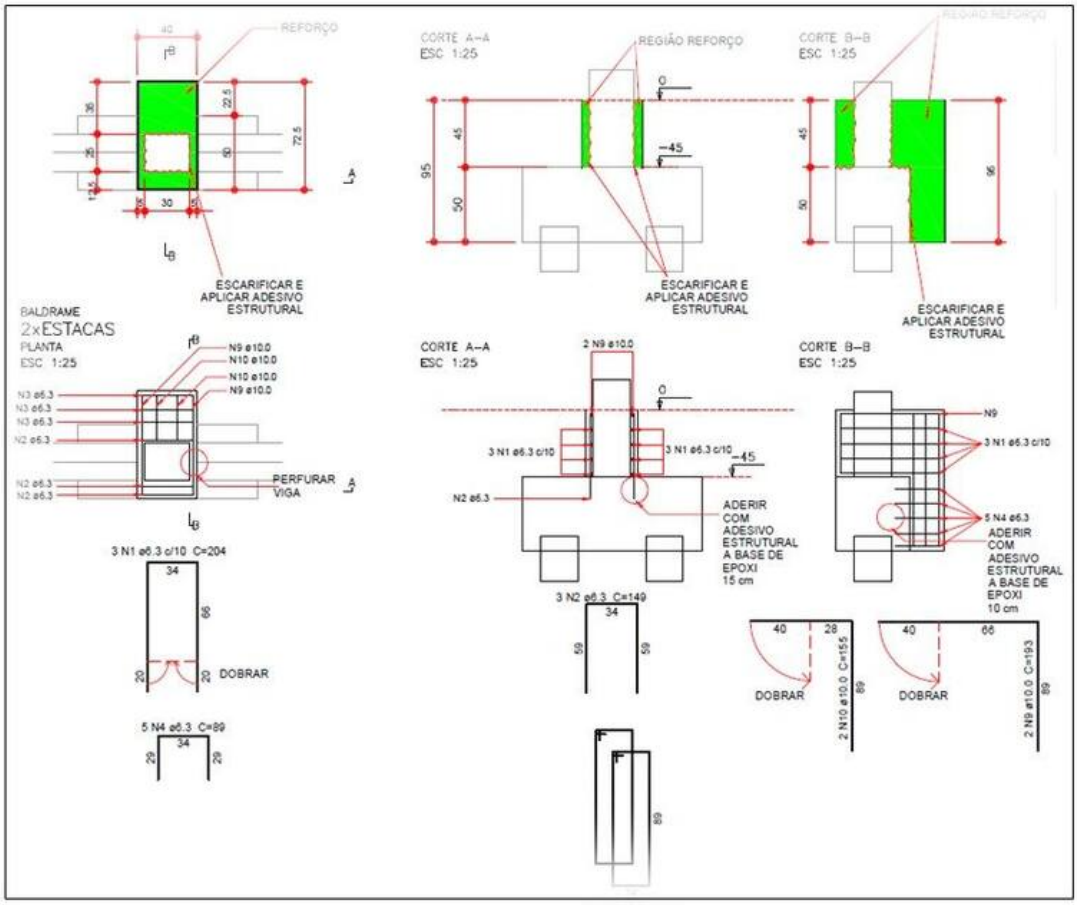


Fonte: os autores

Para o apoio dos pilares metálicos, a solução encontrada pelos projetistas foi aumentar as dimensões do bloco de fundação, semelhante a um consolo curto engastado no pé do pilar e também no bloco de fundação conforme ilustrado na Figura 9. O projeto destes consolos curtos seguiu todas as prescrições na NBR 6118 (ABNT 2024). No topo destes consolos curtos foi embutida uma chapa

metálica no nível zero da construção, isto é, o piso acabado da fábrica, para a conexão dos pilares metálicos de reforço com as fundações.

Figura 9 – Projeto dos consolos curtos de concreto para suporte dos pilares metálicos



Fonte: os autores

A ligação do pilar metálico com a fundação é ilustrada na Figura 10. Com esta solução os pilares metálicos não ficariam enterrados, evitando futuros problemas de corrosão em contato com o solo.

Figura 10 – Chumbador metálico que recebe os pilares metálicos do reforço



Fonte: os autores

A solução de apoiar os pilares metálicos no bloco de fundação (Figuras 9 e 10) foi uma medida de segurança adicional prevista pelos projetistas. O projeto de reforço foi previsto para que todo o

carregamento de todo o reforço fosse transferido aos pilares de concreto antigos, ao longo do comprimento dos pilares. Para fazer com que a estrutura metálica de reforço e a estrutura antiga de concreto armado trabalhassem em conjunto, os projetistas optaram por conectar os novos pilares com placas metálicas soldadas ao pilar metálico e chumbadas nos pilares de concreto antigos. Esta situação é ilustrada na Figura 11. Enrijecedores de alma foram utilizados nestes pontos de conexão conforme indicado por seta vermelha na Figura 11.

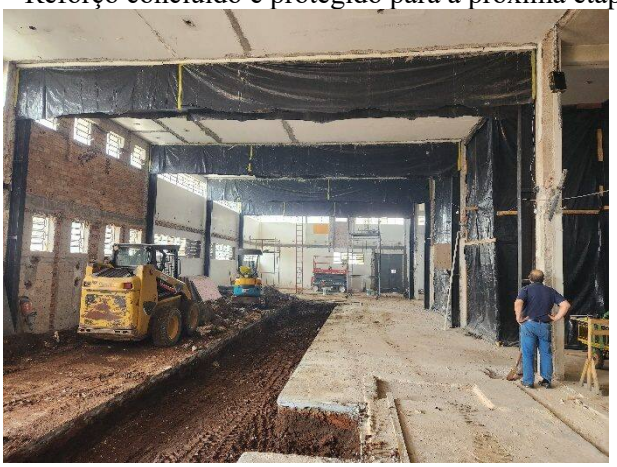
Figura 11 – Chumbadores conectando pilares metálicos de reforço nos pilares de concreto antigos



Fonte: os autores

Com o reforço finalizado, a etapa final da obra foi a preparação para a instalação da nova máquina industrial. Toda a estrutura metálica do reforço foi envelopada com lona com o intuito de proteger as estruturas metálicas durante esta nova etapa da obra. Esta situação é ilustrada na Figura 12.

Figura 12 – Reforço concluído e protegido para a próxima etapa da obra



Fonte: os autores

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso apresentado demonstrou que um projeto de reforço estrutural para uma estrutura antiga que precisa de uma modificação de uso pode não ser uma solução viável, se não for concebido por projetistas experientes. A necessidade de aumentar o vão livre para a instalação de uma máquina industrial mais moderna requeria um projeto que minimizasse custo e tempo.

No caso apresentado, da retirada de uma linha de pilares dentro de uma edificação industrial, a solução inicialmente pensada pela empresa seria mais custosa, lenta e careceria da paralisação da fábrica. Enquanto que a solução apresentada pelos projetistas considerou demolir parte das lajes de escritórios como forma de aliviar as cargas nas fundações, permitindo que a retirada de outra linha de pilares demandasse por um reforço mais leve, não sobrecarregando as fundações existentes.

Vãos de 5 m em concreto armado, foram transformados em vãos de 10 m com o auxílio de vigas metálicas treliçadas, apoiadas em perfis I metálicos, que por sua vez foram apoiados no alargamento dos blocos de fundação. A opção por um reforço metálico, ao invés do reforço em concreto armado que havia sido sugerido pela fábrica, foi uma solução rápida, leve, limpa e viável. Enquanto as lajes eram demolidas, os perfis metálicos foram produzidos, o que agilizou o período de obra. Com esta solução, a máquina antiga continuou funcionando enquanto a obra de reforço e instalação da nova máquina acontecesse. Desde a obra no início de 2025 até o presente momento, as duas máquinas estão funcionando e a previsão inicial da indústria seria de desmontar a máquina antiga para o reforço e instalação da nova máquina.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações**. Rio de Janeiro, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762: **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, 2010.

RILL, D.; FORTENBACHER, M. **SensorDisc – a novel approach to in-situ assessment of bolt load and condition**. In: 11th European Workshop on Structural Health Monitoring, 2024.

RILL, D. **Fixações com sensores integrados como dispositivo para monitoramento estrutural**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 66, 2025. II Seminário Engenharia Estrutural de Obras de Concreto: Uso de Tecnologias Avançadas em Casos Reais de Engenharia Estrutural, 2025.

RIPPER, T.; SOUZA, V. C. M. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Pini, 1998.

CAPÍTULO 21 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/khkppw22
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/fynfa884

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DE PROTÓTIPOS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM BARRAS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO

Aramys Júlio da Silva Montenegro[1], José Wyslan Lima[2]; Thaís Júlia Ribeiro Araújo[3]; Franciele Rodrigues de Oliveira[4]; Rodrigo César Pierozan[5] e Valéria Costa de Oliveira[6*]
*Valéria Costa de Oliveira: valeria.oliveira@ifro.edu.br

[1] Coordenação do curso de graduação em engenharia civil, Instituto Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil
[2] Coordenação do curso de graduação em engenharia civil, Instituto Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil
[3] Coordenação do curso de graduação em engenharia civil, Instituto Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil
[4] Coordenação do curso de graduação em engenharia civil, Unisinos, São Leopoldo, Brasil
[5] Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Brasil
[6] Coordenação do curso de graduação em engenharia civil, Instituto Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil

RESUMO

As barras de polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV) oferecem resistência à corrosão e redução de densidade aos concretos. O objetivo foi analisar a resistência à tração na flexão de protótipos de vigas de concreto armado reforçadas com barras de PRFV. A metodologia envolveu a produção de corpos de prova utilizando tanto armadura de aço quanto PRFV, além de estribos de PRFV quanto de aço. Foram dosados concretos classes C25 e C35. Ensaios de resistência à tração na flexão, quatro pontos, indicam um modo de ruptura frágil, consistente com o comportamento linearmente elástico do PRFV até a fratura. Ao contrário do aço, o PRFV não permite a redistribuição de tensões antes da falha, tornando essencial um projeto estrutural adequado.
Palavras-chave: fibra de vidro; resistência à corrosão; comportamento à ruptura; concreto armado; vigas.

ABSTRACT

Glass fiber reinforced polymer (GFRP) bars offer corrosion resistance and density reduction to concrete. The objective was to analyze the flexural tensile strength of prototype reinforced concrete beams reinforced with GFRP bars. The methodology involved the production of test specimens using both steel and GFRP reinforcement, as well as GFRP and steel stirrups. Concrete mixes of class C25 and C35 were used. Flexural tensile strength tests, four points, indicate a brittle failure mode, consistent with the linearly elastic behavior of GFRP until fracture. Unlike steel, GFRP does not allow stress redistribution before failure, making proper structural design essential.
Keywords: glass fiber; Corrosion resistance, fracture behavior; reinforced concrete; beams.

1. INTRODUÇÃO

O minério de ferro desempenha um papel fundamental na economia brasileira, visto que sua alta demanda a nível global tem gerado benefícios comerciais para o país (Koppe, 2007). No entanto, também é crucial considerar a sustentabilidade desse crescimento, dado que os recursos minerais são finitos e a cadeia produtiva envolve alto consumo de insumos, mesmo quando as reservas globais são suficientes por muitos anos. Neste sentido, Pereira (2012) cita uma exaustão gradual dos materiais de maior qualidade nas jazidas, o que acarreta maiores investimentos e necessidade de plantas mais complexas de beneficiamento de maneira a garantir escala e a qualidade das reservas minerais, assim como dos ativos de produção e logística.

No contexto da construção civil, por décadas, os elementos tradicionais de concreto armado, como vigas, têm sido compostos de concreto armado com barras de aço. Nessas vigas, o concreto resiste às tensões de compressão, enquanto as cargas de tração e cisalhamento são suportadas pelas barras de aço embutidas na matriz cimentícia (Leonhardt e Mönnig, 1997). No entanto, o uso do aço apresenta desvantagens, como sua suscetibilidade à corrosão, que afeta a durabilidade das estruturas, além do impacto ambiental associado à sua produção (Helene, 1999).

Nesse contexto, uma alternativa inovadora é o uso de barras de reforço feitas de polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV). Esses materiais são reconhecidos por sua alta resistência à tração, baixo peso específico e excelente resistência à corrosão. Estudos como os de Jiang et al. (2018) e Li et al. (2020) destacam que as barras de PRFV apresentam desempenho mecânico superior ao do aço em ambientes agressivos. Além disso, Jabbar e Farid (2018) apontam que sua resistência à corrosão e capacidade de deformação fornecem alertas precoces suficientes antes da falha estrutural. No entanto, é importante considerar que as barras de PRFV exibem comportamento frágil, com uma relação tensão-deformação linear até a fratura, devido à anisotropia do material, o que significa que ele apresenta alta resistência apenas na direção longitudinal das fibras.

De uma perspectiva histórica, a fibra de vidro foi desenvolvida na década de 1930, embora inicialmente não fosse destinada à fabricação de barras de reforço. Sua primeira aplicação em estruturas de concreto armado foi registrada na década de 1950 (Mazzú, 2020). O uso de barras de reforço de PRFV representa um campo de pesquisa em expansão na engenharia civil, com potencial para substituir o aço em aplicações específicas. Mazzu (2025) explica que aplicação relativamente recente de barras de PRFV em estruturas de concreto implica na carência de resultados sobre seu comportamento e durabilidade a longo prazo. Neste sentido, nas últimas décadas, inúmeros estudos experimentais têm sido conduzidos investigando o comportamento estrutural de vigas de concreto armado com PRFV. Apesar desses avanços, ainda existem desafios em relação à resistência à tração por flexão e à capacidade de absorção de energia de vigas de concreto armado com PRFV.

Os resultados de Ahmed, Kadhim e Tahir (2025) mostram que tanto as barras de aço quanto as de fibra de vidro podem ser usadas como material de reforço em concreto. Segundo os autores, devido à sua natureza composta anisotrópica, as barras de PRFV apresentam aproximadamente 34,72% a mais de resistência à tração em comparação com as barras de aço. No entanto, pode haver alguma deformação na tração maior do que a do PRFV em aproximadamente 23,98% em média.

Outra vantagem é que as barras de fibra de vidro têm maior resistência à tração e menor peso, ou seja, são mais fáceis de manusear e transportar (Ahmed, Kadhim e Tahir, 2025). Por outro lado, as barras de aço têm um módulo de elasticidade e ductilidade maiores. Assim, os autores citam que as barras de fibra de vidro podem ser uma opção adequada para projetos que exigem reforço leve,

enquanto as barras de aço podem ser uma opção melhor para projetos que exigem alta resistência à tração e ductilidade.
Oestreich et al., (2025) realizaram um programa experimental em cinco vigas reforçadas com seção transversal retangular (120 mm x 200 mm x 1500 mm). Os autores avaliaram a resistência de aderência na interface têxtil-matriz e o tratamento da superfície têxtil. A partir dos resultados, observou-se que todas as vigas reforçadas apresentaram aumentos na capacidade de carga, ductilidade e tenacidade.

Karabulut (2025) analisou novas vigas de concreto armado reforçadas com barras de PRFV, com três diferentes resistências à compressão do concreto: baixa (CC20), moderada (CC30) e alta (CC40), cada uma medindo 150 × 200 × 1100 mm. Os resultados deste estudo demonstram que, independentemente da resistência à compressão do concreto, as vigas desenvolvem uma única grande fissura de flexão no ponto médio. O autor cita que a capacidade de carga final de vigas de concreto com barras de PRFV apresenta melhor resistência à compressão do concreto, e destaca que as vigas CC20 e CC30 exibem um comportamento de falha mais dúctil do que as vigas CC40. Assim, os resultados demonstraram que a capacidade de carga final das vigas CC40 foi aproximadamente 74% maior do que a das vigas CC20.

Neste sentido, o objetivo geral deste estudo foi analisar o comportamento mecânico de protótipos de vigas de concreto armado reforçadas com barras de PRFV. Os objetivos específicos foram:

- Analisar a relação entre a resistência característica à compressão dos concretos e o desempenho na resistência à tração na flexão de peças estruturais que utilizam barras de PRFV;
- Verificar o comportamento de falha dos elementos estruturais quando se emprega estribos de aço e PRFV em concreto armados com barras de PRFV;
- Avaliar a carga de resistência à tração na flexão *versus* deformação de elementos estruturais quando utilizam vergalhões de PRFV.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental proposto na metodologia envolveu a fabricação de protótipos de vigas de concreto utilizando dois tipos diferentes de cimento, bem como a aplicação de armadura composta por barras de aço e barras reforçadas com polímero e fibras de vidro, estribos de PRFV e de aço. Após a cura, as vigas fabricadas em laboratório foram submetidas a ensaios de resistência à tração na flexão.

2.1 Materiais

Para a produção das vigas, foram utilizados dois tipos de cimento: CP V ARI e CP IV 32. A escolha desses materiais baseou-se na intenção de avaliar o comportamento do concreto armado tanto com um cimento sem adições pozolânicas (CP V ARI) quanto com uma alternativa que reflita mais de perto as práticas construtivas típicas da região onde a pesquisa foi realizada (CP IV 32), visto que cimentos com adições são comumente utilizados em projetos reais. O traço do concreto foi elaborado de acordo com as especificações para a Classe C 25 e C 35, conforme a norma C94/C94M-24d (ASTM, 2024a). As vigas foram moldadas utilizando fôrmas de madeirite plastificado de 12 mm de espessura. Os dados dos fabricantes quanto à caracterização dos vergalhões de aço e PRVF constam no Quadro 1.

Quadro 1 – Dados técnicos dos vergalhões

Características	Aço CA-50	Fibra de vidro
Resistência à tração (MPa)	450	1155
Densidade (kg/m³)	7850	1970
Módulo de elasticidade (GPa)	210	47,6

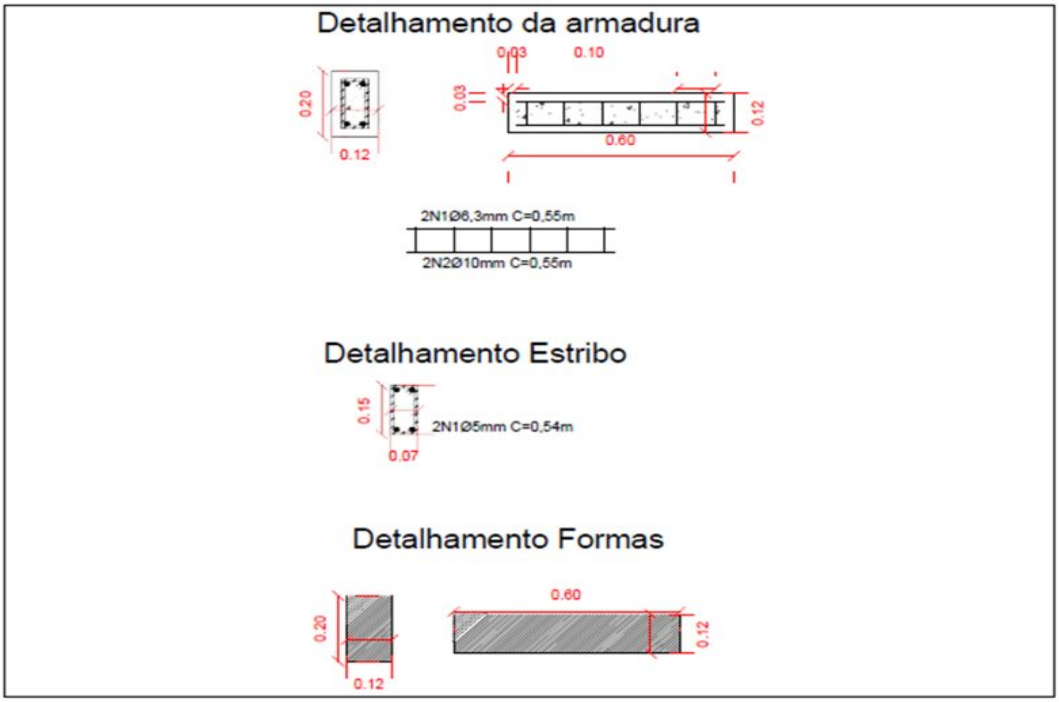
Fonte: os autores.

Ambas as armaduras apresentam uma superfície nervurada para melhorar a aderência ao concreto, que ocorre devido à presença de saliências na superfície da barra (Zulini, 2019). De modo geral, quanto maior a resistência do concreto, maiores serão os esforços de aderência que o concreto poderá suportar na interface aço-concreto (França, 2004, Soroushian *et al*., 1991).

Foram fabricados para cada dosagem de concreto (CP V ARI e CP IV 32), dois corpos de prova de vigas armadas com barras de aço (estribos de aço), dois armados com vergalhões de fibra de vidro (estribos de aço) e dois armados com vergalhões de fibra de vidro (estribos de PRFV), totalizando 12 corpos de prova.

O projeto do protótipo construído está demonstrado na Figura 1. A montagem foi equivalente para todas as composições analisadas (até com estribos diferentes do aço). A seleção de um pequeno número de corpos de prova deve-se ao caráter exploratório desta etapa inicial do estudo, cujo principal objetivo é avaliar a viabilidade técnica do procedimento proposto e obter resultados preliminares para orientar as fases experimentais subsequentes com um número maior de amostras.

Figura 1 - Montagem do sistema de reforço com PRFV e os estribos de aço



Fonte: os autores.

Vale destacar que a ductilidade de vigas de concreto armado depende de vários fatores, dentre os quais podem-se citar a resistência do concreto, a quantidade e o tipo de armadura utilizada e a geometria da seção transversal (Borges et al, 2004). Os autores explicam que o efeito de escala na ductilidade pós-pico uma viga de comprimento 30 cm apresentou uma deformação claramente mais

elevada do que a viga maior de comprimento 70cm. Desta forma, fica evidenciada a redução da ductilidade com o aumento do tamanho da viga. Borges et al., (2004) utilizaram dimensões de 10x20cm. Para este estudo foi adotado as dimensões de vigas de concreto armado 12x20x60cm. No caso deste estudo todos os elementos foram moldados com as mesmas dimensões e posicionamento de armaduras, pois o objetivo foi analisar o comportamento mecânico de protótipos de vigas de concreto armado reforçadas com barras de PRFV. As barras de aço e as hastes de fibra de vidro tinham diâmetros de 6,3 mm na parte superior e 10 mm na parte inferior. Os estribos utilizados tinham um diâmetro de 5,0 mm. A Figura 2 demonstra o detalhamento das armaduras de PRFV e estribos de aço.

Figura 2 - Montagem do sistema de reforço com PRFV e os estribos de aço



Fonte: os autores.

2.2 Métodos

O planejamento das etapas de construção das vigas foi desenvolvido a partir da criação de desenhos técnicos com uso do software AutoCAD, detalhando a armadura, os estribos e as fôrmas. Uma vez finalizados os projetos, as fôrmas para moldagem das vigas de concreto foram fabricadas utilizando compensado revestido de plástico com 12 mm de espessura e dimensões prismáticas de 12×60×20 cm. A superfície interna das fôrmas foi tratada com um agente desmoldante à base de emulsão para facilitar sua remoção.

Simultaneamente, a armadura de aço e as barras de fibra de vidro foram cortadas e dobradas. A armadura longitudinal e transversal foi fixada com arame recozido e posicionada dentro das fôrmas utilizando espaçadores de plástico, garantindo o cobrimento adequado de concreto. Nessas condições, a resistência à tração por flexão foi determinada utilizando a equação 1:

$$\tau = \frac{F.l}{b.d^2} \quad (1)$$

Onde:
τ - resistência à flexão (MPa)
F - força máxima registrada na máquina de ensaio (N)
l - vão entre apoios (mm)
b - largura média do corpo de prova (mm)
d - altura média do corpo de prova (mm).

3. RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de laboratório incluem a análise da resistência à tração na flexão de vigas reforçadas com vergalhões de fibra de vidro e a resistência à tração na flexão de vigas de concreto armado armadas com vergalhões de aço, e respectivas avaliações do modo de falha de vigas de concreto armado. Esses dados foram fundamentais para validar o desempenho dos materiais, comparando vergalhões reforçados com fibra de vidro com vergalhões de aço tradicionais.

No estado fresco, os resultados do ensaio de abatimento foram de 178 mm e 177 mm para os concretos produzidos com cimentos CP V ARI e CP IV 32, respectivamente. Os resultados da resistência à compressão dos concretos (28 dias) produzidos com os diferentes cimentos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resistência à compressão dos concretos

Cimento	Densidade média dos corpos de prova (Kg/m³)	Resistência à compressão (MPa)
CP V ARI	2345,03	34,76
CP IV 32	2305,93	25,08

Fonte: os autores.

Os resultados indicam que os concretos produzidos com cimento CP V ARI apresentaram resistência à compressão de 34,76 MPa, enquanto os produzidos com cimento CP IV 32 atingiram 25,08 MPa. A consistência e o consumo de material permaneceram constantes durante o projeto da mistura de concreto. No entanto, a mistura com cimento pozolânico (CP IV 32) exigiu uma relação água/cimento (a/c) de 0,62 e um aditivo plastificante de 0,45% em massa de cimento, enquanto a mistura com CP V ARI utilizou uma relação a/c de 0,50 e 0,30% de aditivo plastificante, garantindo assim a mesma trabalhabilidade. Os resultados da resistência à tração na flexão das vigas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resistência à tração na flexão das vigas armadas.

Tipo de Armadura/cimento	Densidade (Kg/m³)	Resistência à Tração na Flexão aos 28 Dias (MPa)	Zona de ruptura (mm)	Deslocamento vertical (mm)
Aço/Estribo de aço/ CP V ARI	2373,35	11,17	>5% de *l*	7,42
PRFV/Estribo de aço/ CP V ARI	2318,75	8,01	>5% de *l*	6,95
Aço/Estribo de aço/ CP IV 32	2283,62	6,86	>5% de *l*	2,98
PRFV/Estribo de aço/ CP IV 32	2266,95	4,23	>5% de *l*	1,96
PRFV/Estribo de PRFV/ CP V ARI	2212,51	11,70	>5% de *l*	7,83
PRFV/ Estribo de PRFV/ CP IV 32	2272,47	6,76	>5% de *l*	4,74

Fonte: os autores.

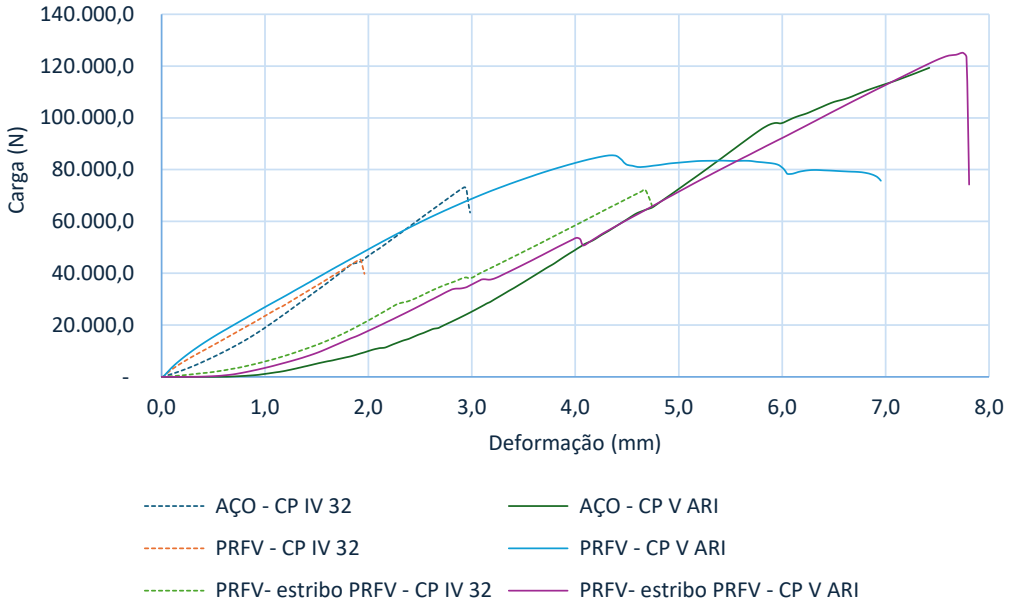
A composição dos concretos exerceu influência consistente em todas as combinações analisadas, uma vez que os resultados evidenciaram diferenças de desempenho entre os protótipos de vigas armadas. O desempenho superior das peças moldadas com cimento CP V ARI está associado à elevada reatividade desse aglomerante, que favorece o desenvolvimento inicial das resistências mecânicas. Os valores de resistência à tração na flexão atingiram 11,17 MPa para as misturas produzidas com CP V ARI e 6,86 MPa para aquelas dosadas com CP IV 32, quando empregados protótipos armados com barras e estribos de aço. Resultados da literatura corroboram essa tendência: Jabbar e Farid (2018) obtiveram 17,5 MPa para vigas com barras de aço e 12,5 MPa para vigas com barras de fibra de vidro; de forma semelhante, Orouji e Najaf (2023) reportaram resistências de 19 MPa e 15,5 MPa, respectivamente.

Verificou-se redução da resistência à tração na flexão quando se utilizou cimento pozolânico (CP IV 32) em peças armadas com barras de fibra de vidro, que apresentaram valor de 4,23 MPa. Além disso, os protótipos confeccionados com vergalhões de PRFV e estribos de PRFV apresentaram ruptura frágil e abrupta, ainda que tenham alcançado resistências de 11,70 MPa e 6,76 MPa, respectivamente, para concretos produzidos com CP V ARI e CP IV 32.

Observou-se também que os protótipos armados com vergalhões de PRFV apresentaram menor densidade em comparação àqueles armados com barras de aço, resultado coerente com Orouji e Najaf (2023), que destacam que o uso exclusivo de barras de fibra de vidro tende a reduzir a resistência à tração na flexão em relação ao aço. Por outro lado, essa solução contribui para a diminuição do peso próprio das vigas em aproximadamente 4%, além de reduzir custos de preparo e emissões de CO_2 em cerca de 43%.

De modo geral, sistemas com PRFV possibilitam estruturas mais leves. Entretanto, limitações como menor módulo de elasticidade, baixa ductilidade e, em alguns casos, necessidade de maiores taxas de armadura demandam critérios específicos de dimensionamento e controle de deformações, conforme discutido por Santos et al. (2025). A Figura 3 apresenta a relação entre resistência à tração na flexão e deslocamento das amostras avaliadas.

Figura 3 – Carga *versus* deslocamento

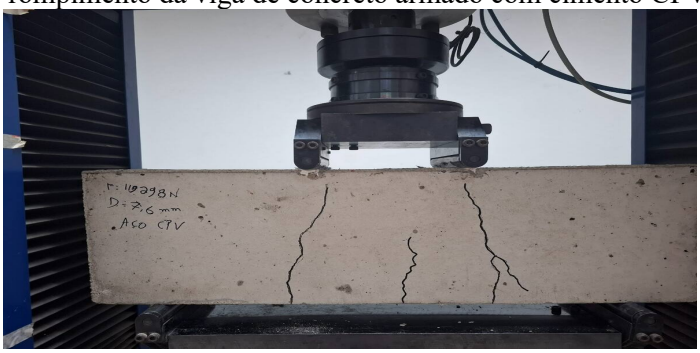


Fonte: os autores

Em termos de comportamento mecânico, as vigas com armadura de aço apresentaram elevados níveis de deslocamento pós-pico, caracterizando comportamento dúctil, enquanto aquelas armadas com PRFV exibiram ruptura abrupta após o pico de carga, típica de comportamento frágil. Esse resultado corrobora as discussões de Santos et al. (2025), que destacam que o aço é um material dúctil, com capacidade de

escoamento plástico, ao passo que o PRFV possui menor módulo de elasticidade e tende a fraturar de forma súbita, sem aviso prévio. Ainda segundo Santos et al. (2025), sistemas com armadura de aço apresentam resposta dúctil, com patamares de tensão após o pico e rupturas frequentemente governadas pelo cisalhamento, possibilitando redistribuição interna de tensões antes da falha. Em contraste, vigas armadas com PRFV falham predominantemente por flexão e demonstram resposta mais frágil, em razão do módulo elástico reduzido e da ausência de escoamento plástico. Essa distinção implica que o aço é capaz de absorver maior quantidade de energia por deformação, enquanto o PRFV pode atingir picos de resistência semelhantes (ou inferiores), porém sem deformações prévias significativas, o que reduz a capacidade de aviso estrutural antes da ruptura. Quanto ao emprego de estribos de PRFV, observou-se incremento na resistência à tração na flexão; entretanto, as vigas apresentaram ruptura frágil e brusca, evidenciando que a resistência ao cisalhamento não foi acompanhada por capacidade de deformação compatível. Tal comportamento pode ser verificado nas Figuras 8 e 9, nas quais se observa a ruptura do corpo de prova, e não apenas a formação e propagação de fissuras decorrentes da aplicação das cargas. Os modos de ruptura das vigas estão ilustrados nas Figuras 4 a 9.

Figura 4 - Detalhe de rompimento da viga de concreto armado com cimento CPVARI e barras de aço.



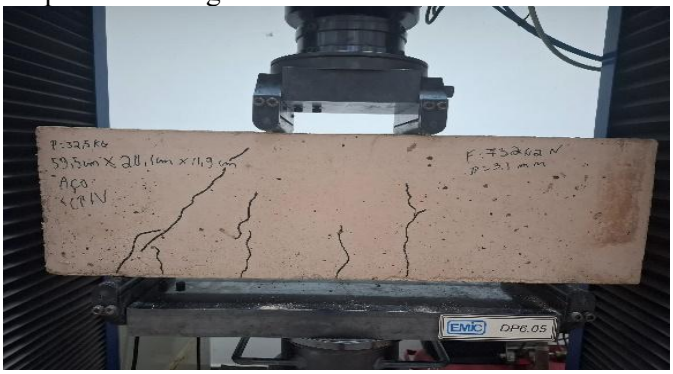
Fonte: os autores.

Figura 5 - Detalhe de rompimento de viga de concreto armado com cimento CPVARI e barras PRFV.



Fonte: os autores.

Figura 6 - Detalhe de rompimento de viga de concreto armado com cimento CP IV32 e barras de aço.



Fonte: os autores.

Figura 7 - Detalhe de rompimento da viga de concreto armado com cimento CP IV 32 e barras PRFV.



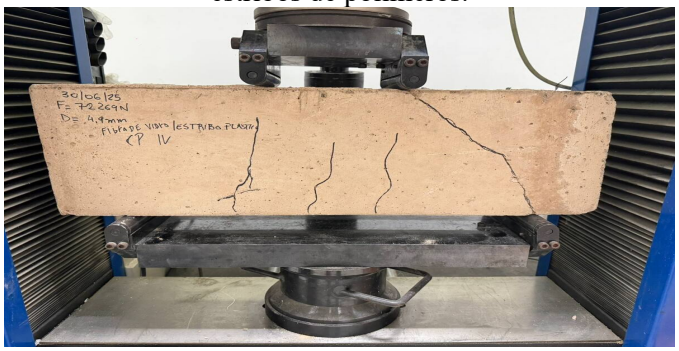
Fonte: os autores.

Figura 8 - Detalhe de rompimento de viga de concreto armado com cimento CPVARI e barras PRFV e estribos de polímeros.



Fonte: os autores.

Figura 9 - Detalhe de rompimento de viga de concreto armado com cimento CP IV32 e barras PRFV e estribos de polímeros.



Com o aumento progressivo da carga, fissuras verticais de flexão passaram a surgir na face inferior dos corpos de prova, na região tracionada. À medida que essas fissuras se propagavam em direção à zona comprimida, evoluíam para fissuras inclinadas na alma, tornando-se mais expressivas nas vigas de concreto armado com vergalhões de aço. Observou-se que, à medida que a carga se aproximava do valor máximo, houve redução na formação de novas fissuras, acompanhada do alongamento e da abertura das fissuras já existentes.

Uma abordagem relevante quanto ao comportamento frágil sob as dimensões dos corpos de prova utilizados (12x20x60cm), favoreceu a flexão simples dos conjuntos, pois a relação L/d igual a 3, é considerada baixa, e desta forma o mecanismo dominante de ruptura ocorre por cisalhamento e ruptura frágil. Neste modelo, em vigas de baixo L/d, as fissuras inclinadas crescem rapidamente e o concreto rompe antes do aço escoar, o que mostra a maior influência de esforços cortantes e a

tendência à ruptura frágil por cisalhamento (Ribeiro, 2013 e Salvador, 2013). Awad e Mohammed Rasheed (2024) explicam que o comportamento ao cisalhamento de vigas de concreto armado é muito complexo e pode ser afetado por diversos fatores, incluindo a resistência à compressão do concreto, a relação entre o vão de cisalhamento e a altura, a quantidade de armadura longitudinal, o efeito de escala, a largura da fissura e a presença de tensão diagonal. Portanto, determinar com precisão a resistência à tração diagonal e a carga de fissuração em uma viga de concreto armado é um desafio devido à necessidade de conhecimento preciso sobre as distribuições de tensões de cisalhamento e flexão.

As vigas armadas com PRFV apresentaram maiores comprimentos e espaçamentos entre fissuras quando comparadas às vigas com armadura de aço, comportamento também relatado por Elkhouly, Tayel e Sallam (2024). Esse padrão está associado ao menor módulo de elasticidade do PRFV, que resulta em maiores deformações e, consequentemente, maior abertura e espaçamento das fissuras. Quanto ao modo de falha, as fissuras mais significativas concentraram-se na região central das peças, indicando predominância de ruptura associada ao cisalhamento. A análise dos resultados evidencia a influência tanto da dosagem da matriz cimentícia quanto do tipo de barra de reforço na resistência à tração na flexão e no comportamento mecânico global das vigas, contribuindo para a compreensão do desempenho estrutural de concretos reforçados com materiais alternativos. De acordo com Leal et al. (2024), em compósitos com barras de fibra de vidro as fissuras apresentaram distribuição distinta, localizando-se mais próximas aos apoios e com inclinação aproximada de 45°, especialmente quando empregados estribos de PRFV, comportamento também observado no presente estudo. Os ensaios de tração na flexão confirmaram um modo de falha frágil, coerente com o comportamento linearmente elástico do PRFV até o instante da fratura.

4. CONCLUSÕES

Este estudo limitou-se a analisar os comportamentos de vigas de concreto armado, produzidas nas dimensões 12x20x60cm, consideradas de relação L/d baixa (3), contudo empregou mesmos detalhamentos de armaduras, alterando apenas os materiais dos vergalhões (aço e PRFV) e estribos (aço e PRFV), além de produzir concretos com duas diferentes classes de concretos. Com base nestas diferentes composições, observou-se que as vigas armadas com PRFV apresentam comportamento predominantemente frágil, com ruptura abrupta e limitada capacidade de redistribuição de tensões, em contraste com a resposta dúctil observada nas vigas com armadura de aço.

A menor rigidez do PRFV influenciou o padrão de fissuração, resultando em maiores aberturas e espaçamentos entre fissuras, além de menores deformações prévias à ruptura. Esses aspectos evidenciam que o dimensionamento com PRFV requer critérios específicos de controle de deformações e de estados limites de serviço, conforme discutido por Santos et al. (2025).

Verificou-se ainda que a dosagem dos concretos influenciou a resistência à tração na flexão, sendo os traços que empregaram o CP V ARI associado aos maiores desempenhos mecânicos, enquanto o uso de cimento pozolânico (CP IV 32) resultou em reduções de resistência nas combinações analisadas, possivelmente dada as reações de hidratação dos cimentos pozolânicos. Assim, o desempenho estrutural das vigas mostrou-se dependente da interação entre matriz cimentícia e tipo de armadura.

Como perspectivas para pesquisas futuras, recomenda-se: (i) o desenvolvimento de técnicas que aprimorem a aderência entre PRFV e concreto; (ii) a proposição de estratégias que aumentem a ductilidade global de vigas reforçadas com PRFV; (iii) a avaliação do desempenho dessas estruturas sob carregamentos de longa duração, efeitos reológicos e condições reais de serviço, a fim de ampliar a confiabilidade e a aplicabilidade do sistema em diferentes contextos estruturais e (iv) avaliação dos comportamentos de resistência à tração na flexão aplicados a vigas com diferentes relações L/d.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO) e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

REFERÊNCIAS

AHMED, S. H., KADHIM, F. M., & TAHIR, M. S. A. D. (2025, May). A comparative study of iron versus fiberglass bar in concrete: Tensile and flexural characteristics. In *AIP* **Conference Proceedings** (Vol. 3211, No. 1, p. 080064). AIP Publishing LLC. https://doi.org/10.1063/5.0257285

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2022), **ASTM C78/C78M-22: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).** Washington. https://doi.org/10.1520/C0078_C0078M-22

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2024a). **ASTM C94/C94M-24d: Standard Specification for Ready-Mixed Concrete.** Washington. https://doi.org/10.1520/C0094_C0094M-24D

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2024b). **ASTM C192/C192M-24: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory**. Washington. https://doi.org/10.1520/C0192_C0192M-24

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2024c). **ASTM C39/C39M-24: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.** Washington. https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-24

AWAD, M.J. e RASHEED, M. "Shear Behaviour in Reinforced Concrete Beams: Mechanisms, Failure Modes, and Predictive Models: A Review," Rafidain J. Eng. Sci., vol. 2, no. 2, pp. 210–227, Aug. 2024, DOI: 10.61268/jn6cbh11.

BORGES, J. U. A. et al. Length effect on ductility of concrete in uniaxial and flexural compression. Structural Journal, v. 101, n. 6, p. 765-772, 2004. DOI: 10.14359/13451

ELKHOULY, A. F., TAYEL, M. A., & SALLAM, H. G. (2024). Comparative study on using steel and glass fiber reinforced polymer rebars as reinforcement on flexural behavior of concrete beams. *ERJ.* **Engineering Research Journal**, *47*(2), 163-177. https://erjm.journals.ekb.eg ERJ ISSN: 1110-1180.

FRANÇA, V.H. (2004) Aderência aço-concreto – Uma análise do comportamento do concreto fabricado com resíduos de borracha. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, SP

HELENE, P. R. L. Corrosão em armaduras para concreto armado (4ª ed). São Paulo, **PINI**, 1999, 48 p.

JABBAR, S. A., FARID, S. B. (2018). Replacement of steel rebars by GFRP rebars in the concrete structures. **Karbala International Journal of Modern Science**, 4(2):216-227. https://doi.org/10.1016/j.kijoms.2018.02.002

JIANG, H., GUO, Z., LIU, J. (2018). Composite behavior of sandwich panels with W-shaped SGFRP connectors. **KSCE Journal of Civil Engineering**, 22(5):1889-1899. https://doi.org/10.1007/s12205-017-2050-3

KARABULUT, M. (2025). Machine Learning-Driven Flexural Performance Prediction and Experimental Investigation of Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar-Reinforced Concrete Beams. **Polymers**, *17*(6), 713. https://doi.org/10.3390/polym17060713

KOPPE, J. C. A lavra e a indústria mineral no Brasil - estado da arte e tendências tecnológicas. In: FERNANDES, F. R. C.; MATOS, G. M. M.; CASTILHOS, Z. C.; LUZ, A. B. da (eds.). Tendências tecnológicas Brasil 2015: geociências e tecnologia mineral. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 81-102, 2007.

LEAL, E. F., DE AGUIAR, L. F. R., MENDONÇA JÚNIOR, G. D. F. (2024). Análise experimental de vigas de concreto armado com vergalhão de fibra de vidro. **Integrar-Revista Acadêmica,**2(1):33-33.
http://periodicos.grupointegrado.br/revista/index.php/integrar/article/view/3819

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado. v.1. Rio de Janeiro: **Interciência**, 1977.

LI, Y., YIN, S., LU, Y., HU, C. (2020). Experimental investigation of the mechanical properties of BFRP bars in coral concrete under high temperature and humidity. **Construction and Building Materials**, 259:120591. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120591

MAZZÚ, A. D. E. (2020). **Estudo sobre a substituição de armadura metálica por barras de GFRP em vigas de concreto armadas à flexão quando submetidas ao ataque acelerado de íons cloreto**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo. https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/12770

MAZZÚ, A. D. E. (2025). **Análise experimental do comportamento e durabilidade de vigas de concreto armadas à flexão com barras de GFRP submetidas à ação de solução salina**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo.

OROUJI, M., NAJAF, E. (2023). Effect of GFRP rebars and polypropylene fibers on flexural strength in high-performance concrete beams with glass powder and microsilica. **Case Studies in Construction Materials**, 18:e01769. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01769

PEREIRA, Suzana de Avila Cortes. O mercado de minério de ferro. Monografia (Especialização). Engenharia de Recursos Minerais da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2012.

RIBEIRO, N. M. A.. Determinação de propriedades mecânicas através de ensaios de provetes miniatura," Small Punch". 2013. Dissertação (mestrado). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, Portugal.

SALVADOR, Renan Pícolo. Análise comparativa de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concreto reforçado com fibras. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, São paulo.

SANTOS, L. DA S. DOS, CUNHA, P. F. DE L., RIBEIRO, V. R. A., SOUSA, D. A. DE, SILVA, J. C. M., & FRAGA, Y. S. B. (2025). Estudo comparativo do uso de fibras de vidro como substituição para armadura de flexão em vigas de concreto armado. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, 18(11), e22496. https://doi.org/10.55905/revconv.18n.11-300

SOROUSHIAN, Parviz et al. Bond of deformed bars to concrete: effects of confinement and strength of concrete. **Materials Journal**, v. 88, n. 3, p. 227-232, 1991.

TAHRI, W. ET AL. (2021). Review on corrosion of steel reinforcement in alkali-activated concretes in chloride-containing environments. **Construction and Building Materials**, 293:123484. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123484

XIAO, J., LIU, L., ZENG, H., ZHAI, K., FU, J., JIANG, H., PANG, L. (2024). Research on the bond performance between glass fiber reinforced polymer (GFRP) bars and Ultra-high performance concrete (UHPC). **Journal of Building Engineering**, 98:111340. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111340

ZULINI, Isabela. **Efeito do confinamento na aderência entre barras de aço e concreto de alta resistência à compressão**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo.

CAPÍTULO 22 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/8nbz9w18
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/ahg0cp80

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE SOLUÇÕES PARA A UNIÃO DE CONCRETOS COM IDADES DISTINTAS

Gabriela Dalfollo Brackmann[1]*, Lucas Zampieri[1], Daiane Della Libera Leite[2], Thaís Karol Heck Schmitt[1], Rafaela Sebben Eckhardt[1], José Maria de Moura Júnior[1], Ângela Gaio Graeff [3], Denise Carpena Coitinho Dal Molin[3], João Ricardo Masuero[3]
Autor de contato: gabrielabrackmann@gmail.com

[1] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
[2] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
[3] Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

RESUMO

Intervenções em estruturas de concreto armado, tais como reparos, reforços, ampliações ou concretagens executadas em etapas distintas, frequentemente demandam a solidarização entre concretos com idades diferentes, sendo a resistência de aderência na interface parâmetro determinante para o adequado desempenho estrutural. Este estudo investigou a eficiência do material de ligação utilizado nas juntas de concretagem, bem como do preparo da superfície, por meio de ensaios de compressão axial em corpos de prova prismáticos moldados em duas etapas sucessivas, com uma junta inclinada a 60° e um intervalo de 21 dias entre as etapas. Foram investigadas três variantes de resina epóxi, graute cimentício, argamassa colante AC III e um adesivo para argamassa, além das condições de união com e sem apicoamento. Os maiores valores de resistência à compressão foram obtidos com adesivos epóxi (≈21,6–21,9 MPa), graute e apicoamento (21,47 MPa), próximos ao limite superior correspondente ao concreto monolítico (21,92 MPa). A análise da variância indicou diferença significativa entre os tratamentos avaliados, e demonstrou que não houve diferença estatística entre epóxi, graute e apicoamento. As soluções com argamassa colante e adesivo para argamassa apresentaram resistências inferiores (11,93–13,94 MPa). Concluiu-se que o preparo da interface com apicoamento superficial é suficiente para garantir a continuidade estrutural e configura-se como solução tecnicamente adequada e economicamente racional para a união de concretos de idades distintas.
Palavras-chave: aderência concreto-concreto; materiais de ligação, preparo superficial; apicoamento.

ABSTRACT

Interventions in reinforced concrete structures, such as repairs, strengthening, expansions, or concreting operations executed in distinct stages, often require the bonding of concretes of different ages, being the bond strength at the interface a determining parameter for adequate structural performance. This study investigated the efficiency of the bonding material used in the concreting joints, as well as the surface preparation, through axial compression tests on prismatic specimens molded in two successive stages, with 60° inclined joints and a 21-day interval between stages. Three variants of epoxy resin, a cementitious grout, AC III adhesive mortar, and mortar adhesive were evaluated, in addition to the bonding conditions with and without chipping. The highest compressive strength values were obtained with epoxy adhesives (≈21.6–21.9 MPa), grout, and chipping (21.47 MPa), close to the upper limit corresponding to monolithic concrete (21.92 MPa). Analysis of variance indicated a significant difference among the treatments evaluated, and demonstrated that there was no statistical difference between epoxy, grout and chipping. Adhesive mortar and mortar adhesive solutions exhibited lower strengths values (11.93–13.94 MPa). It was concluded that interface preparation with surface chipping is sufficient to guarantee structural continuity and constitutes a technically adequate and economically rational solution for bonding concretes of different ages.
Keywords: concrete-to-concrete bond; bonding agents; surface preparation; chipping.

1. INTRODUÇÃO

A integridade da aderência entre concretos de diferentes idades representa um dos principais desafios da engenharia civil contemporânea, constituindo fator determinante para o êxito de reforços estruturais, reabilitações de estruturas degradadas e ligações entre elementos pré-moldados e moldados *in loco* (Doria, Sales e Andrade, 2015; El Afandi *et al.*, 2023; Santos, Santos e Dias-da-Costa, 2012). Nessas intervenções, a interface entre o substrato e o concreto de reparo configura-se como a região de maior vulnerabilidade estrutural. A ocorrência de falhas nesse plano compromete o comportamento monolítico do elemento, podendo induzir ao descolamento prematuro (*debonding*) e à redução da capacidade resistente do sistema (Kaur *et al*., 2023; Zhao *et al.*, 2023).

Nas intervenções que envolvem a solidarização entre concretos de idades distintas, Doria, Sales e Andrade (2015) ressaltam a necessidade de compreensão dos mecanismos e parâmetros que condicionam a resistência da interface estabelecida entre o substrato existente e o concreto de reparo. Segundo os autores, discrepâncias nas propriedades reológicas e mecânicas (especialmente no que se refere às deformações diferidas e à retração) podem induzir estados tensionais significativos na zona de ligação, sobretudo em decorrência de retrações diferenciais.

Conforme exposto por Li e Li (2011), a compatibilidade dimensional entre o concreto de reparo e o substrato refere-se à capacidade do material de recuperação de redistribuir as tensões desenvolvidas na interface de contato, oriundas das diferenças de deformabilidade entre os materiais, sem que se verifiquem destacamentos ou a formação de fissuras. A ausência de compatibilidade é apontada como um dos principais fatores associados à ocorrência de falhas prematuras em estruturas reparadas, podendo comprometer significativamente a durabilidade e o desempenho do sistema reabilitado. De modo complementar, Beushausen e Alexander (2008) destacam que a solidarização entre concretos de idades distintas constitui situação recorrente tanto em intervenções de reparo quanto nas ligações entre elementos pré-moldados de concreto.

Bissonnette *et al.* (2013) ressaltam que o preparo da superfície de união constitui uma etapa determinante para o desempenho satisfatório da interface. Tal preparo não se restringe às operações realizadas imediatamente antes da aplicação do novo material, abrangendo um conjunto de procedimentos integrados, como a adequada limpeza da base, o correto lançamento do concreto de reparo e a condução rigorosa do processo de cura. Segundo os autores, essas etapas devem ser executadas de forma criteriosa, a fim de possibilitar o desenvolvimento de resistência de aderência suficiente para a redistribuição e acomodação das tensões atuantes na zona de transição. A transferência de esforços na interface é descrita pela teoria do atrito-cisalhamento (*shear-friction theory*), fundamentando-se na interação entre três mecanismos principais: adesão química, intertravamento mecânico e atrito (Costa *et al*., 2018; Papoulidou *et al.*, 2025; Xia *et al*., 2021).

A perda de aderência pode manifestar-se na interface entre concretos de idades distintas, particularmente nas juntas de concretagem, comprometendo o mecanismo de transferência de esforços e resultando em desempenho estrutural insatisfatório (Souza e Ripper, 2005). Diversas técnicas têm sido empregadas para a otimização da resistência de aderência, destacando-se o preparo mecânico da superfície com o objetivo de aumentar a rugosidade, como o apicoamento manual (*chipping* ou *hand chiseling*), a escovação e o jateamento (El Afandi *et al.*, 2023; Kaur *et al.*, 2023). Paralelamente, o emprego de agentes de ligação (*bonding agents*), como resinas epóxi e adesivos cimentícios, tem sido amplamente explorado com o intuito de estabelecer uma ponte de

aderência (Santos, Santos e Dias-da-Costa, 2012; Zhao *et al.*, 2023). Além disso, existem outras técnicas como o corte verde, o vassouramento da superfície, barras extras de ligação e o salgamento da superfície com agregado graúdo (ABNT, 2023; Andrade *et al.*, 2023).

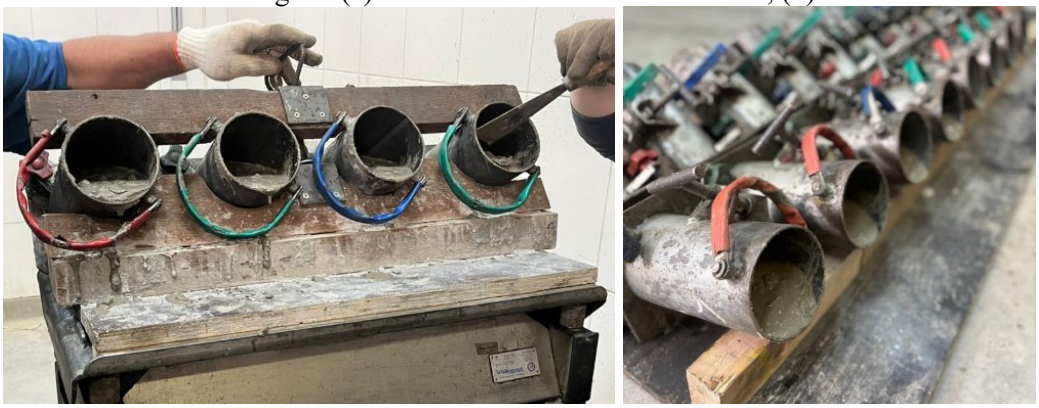
Diante desse panorama, torna-se importante a realização de avaliações experimentais que avaliem o desempenho dos procedimentos de preparo da superfície e tratamento da interface entre substrato e concreto de reparo. Esses aspectos são determinantes para assegurar a adequada interação mecânica entre os materiais envolvidos em intervenções de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado (Souza e Ripper, 2005). Nesse sentido, o presente estudo buscou investigar a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos moldados em duas etapas sucessivas, com interface de união inclinada a 60°, analisando o comportamento de diferentes tratamentos superficiais sob essa configuração geométrica específica. Comparou-se a eficiência de três variantes de resina epóxi, bem como de argamassa colante AC III, graute cimentício e adesivo para argamassa, confrontando-os com o método convencional de apicoamento manual e com uma superfície sem tratamento.

2. METODOLOGIA

Para avaliar eficiência do material de ligação utilizado nas juntas de concretagem, bem como do preparo da superfície, foram moldados 24 corpos de prova cilíndricos (10 x 20 cm) moldados em duas etapas sucessivas, com um intervalo de 21 dias. A junta de concretagem possuía inclinação de 60°, para simular a pior situação de cisalhamento na interface. Além disso, também foram moldados mais 6 corpos de prova cilíndricos (moldados em uma etapa), para o controle da resistência à compressão dos concretos produzidos na primeira e na segunda concretagem.

O concreto utilizado teve o traço em massa de 1:2,9:3,6 (cimento Portland CP V-ARI, areia natural média e brita basáltica tipo 1), e relação água/cimento de 0,58 na primeira concretagem e 0,6 na segunda. A relação água/cimento da primeira concretagem foi reduzida de 0,6 para 0,58 devido a questões de trabalhabilidade do concreto. As moldagens foram realizadas com mistura do concreto em betoneira e execução de ensaio de abatimento, conforme NBR 16889 (ABNT, 2020), e resultaram em 121 mm e 141 mm para a primeira e segunda concretagens, respectivamente. Para a moldagem dos corpos de prova o concreto foi colocado em fôrmas preparadas com desmoldante, e após adensados em mesa vibratória, mantendo-se a inclinação da fôrma em 60º, conforme a Figura 1 (a). Para o processo de cura os corpos de prova foram armazenados em uma base inclinada, como mostra a Figura 1 (b), em ambiente natural por 21 dias.

Figura 1 - Primeira concretagem: (a) adensamento em mesa vibratória; (b) CPs em base inclinada.



(a) (b)

Fonte: os autores.

Na Figura 2 (a) é possível ver os CPs após a desmoldagem, com a superfície inclinada. Decorridos 21 dias da primeira concretagem os corpos de prova foram apicoados manualmente com haste metálica (Figura 2b) a fim de retirar a nata do cimento e gerar rugosidade na superfície de união entre os concretos, para melhorar a aderência com a nova camada. Apenas 3 CPs não receberam apicoamento, conforme Figura 2 (c), pois essa foi uma opção a ser avaliada. Os intervalos de 21 dias foram definidos para que os ensaios pudessem ocorrer durante o período letivo de uma disciplina de pós-graduação.

Figura 2 – (a) CPs com a superfície inclinada; (b) com apicoamento; (c) sem apicoamento.



(a) (b) (c)

Fonte: os autores.

A Tabela 1 especifica os diferentes tratamentos que foram aplicados na face inclinada dos corpos de prova, a fim de avaliar sua eficiência em melhorar a aderência entre os concretos de idades diferentes. Foram ensaiados 3 corpos de prova para cada solução. A mistura das resinas seguiu a orientação dos fabricantes, com homogeneização individual de cada componente e posterior mistura dos dois componentes até sua completa homogeneização. A argamassa colante AC III foi misturada em argamassadeira, conforme a NBR 16541 (ABNT, 2016), adicionando 400 ml de água para 2 kg de material seco. O graute recebeu a mistura com água e foi homogeneizado conforme orientação do fabricante. O adesivo para argamassa foi misturado com água (1 parte de adesivo para 2 partes de água) e então adicionado à argamassa de traço cimento:areia média (1:3).

Tabela 1 – Soluções avaliadas para o tratamento da interface.

Soluções para a interface
Adesivo epóxi A
Adesivo epóxi B
Adesivo epóxi C
Argamassa colante AC-III
Graute
Adesivo para argamassa
Com apicoamento
Sem apicoamento

As soluções foram aplicadas em toda a superfície de união, com auxílio de pincel ou espátula, conforme a Figura 3 (a). Na sequência os corpos de prova foram posicionados dentro das fôrmas, preparadas anteriormente com desmoldante, receberam a nova camada de concreto até seu preenchimento, e foram vibrados em mesa vibratória, como mostra a Figura 3 (b). Os corpos de prova permaneceram em ambiente natural por mais 21 dias até a realização dos ensaios de

compressão axial, que foram realizados em uma prensa hidráulica servo-controlada da marca Shimadzu, com capacidade de 2000 kN.

Figura 3 – (a) aplicação de argamassa colante na superfície de união entre os concretos de idades diferentes; (b) adensamento na mesa vibratória.



Fonte: os autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios experimentais, inicialmente através da caracterização mecânica dos concretos de referência, seguido pelos corpos de prova com interface de união entre concretos de idades distintas. A análise compreende a interpretação dos valores médios, dos modos de ruptura e dos resultados estatísticos, possibilitando a comparação de diferentes soluções.

3.1 Concretos de referência

Inicialmente, foram realizados os ensaios de caracterização mecânica dos concretos utilizados em cada etapa, ou seja, concreto da primeira concretagem e concreto da segunda concretagem, por meio do ensaio de compressão axial conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de compressão axial dos concretos de referência.

Concretos de referência	CP n°	Tensão (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Forma de ruptura
Primeira concretagem	1	27,31	27,01	0,46	Esmagamento
	2	26,48			Esmagamento
	3	27,25			Esmagamento
Segunda concretagem	1	20,94	21,92	1,58	Esmagamento
	2	23,75			Esmagamento
	3	21,07			Esmagamento

O concreto da primeira concretagem, ensaiado aos 42 dias, apresentou resistência média superior ao concreto da segunda etapa, rompido aos 21 dias. Esse resultado pode ser explicado em função das diferentes idades das amostras e relações água/cimento. Apesar de ter sido utilizado o cimento

CP V-ARI, existe alguma influência do processo de hidratação do cimento ao longo do tempo na resistência do concreto. A ruptura de todos os corpos de prova ocorreu por esmagamento. Ademais, com coeficientes de variação de 1,70% e 7,22%, respectivamente, os resultados indicam homogeneidade entre os corpos de prova.

3.2 Corpos de prova com interface de união

Os resultados obtidos no ensaio de compressão axial dos corpos de prova com interface de união entre concretos com idades distintas são apresentados na Tabela 3, e indicam diferenças de desempenho mecânico em função do tratamento adotado na junta de concretagem.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de compressão axial para diferentes soluções de tratamento da interface.

Tratamento da interface	CP n°	Tensão (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Forma de ruptura
Adesivo epóxi A	1	18,72	21,04	2,04	Esmagamento
	2	21,87			Deslizamento
	3	22,54			Esmagamento
Adesivo epóxi B	1	20,44	21,58	1,01	Deslizamento
	2	22,35			Esmagamento
	3	21,96			Esmagamento e deslizamento
Adesivo epóxi C	1	21,26	21,88	2,14	Esmagamento
	2	20,12			Deslizamento
	3	24,26			Esmagamento e deslizamento
Argamassa colante AC-III	1	14,77	13,94	1,60	Deslizamento
	2	12,10			Deslizamento
	3	14,96			Deslizamento
Graute	1	22,54	21,54	1,09	Esmagamento e deslizamento
	2	21,71			Esmagamento e deslizamento
	3	20,37			Esmagamento e deslizamento
Adesivo para argamassa	1	10,95	11,93	2,44	Deslizamento
	2	14,71			Deslizamento
	3	10,12			Deslizamento
Com apicoamento	1	21,20	21,48	1,77	Deslizamento
	2	23,36			Deslizamento
	3	19,86			Deslizamento
Sem apicoamento	1	16,17	18,42	2,82	Deslizamento
	2	21,58			Esmagamento e deslizamento
	3	17,51			Deslizamento

Ao analisar o modo de ruptura dos corpos de prova, observa-se a predominância do deslizamento na interface (58,33%). Nesses casos, a solução adotada no tratamento da interface entre os concretos de idades distintas passou a ser um fator determinante para a ruptura. Nos corpos de prova que a ruptura se deu por esmagamento (16,67%), a solução adotada foi tão eficiente na união dos concretos que permitiu o aproveitamento da resistência à compressão. Em 25% dos casos a ruptura foi mista, com características de esmagamento e deslizamento. A Figura 4 apresenta o registro fotográfico realizado durante os ensaios das três formas de ruptura dos CPs.

Figura 4 – Registro dos CPs rompidos: (a) por esmagamento; (b) por deslizamento; (c) por esmagamento e deslizamento.



(a) (b) (c)

Fonte: os autores.

A partir dos resultados da Tabela 3, determinaram-se as resistências médias de cada tratamento e as demais análises estatísticas necessárias, permitindo a comparação global dos valores conforme as diferentes soluções avaliadas. Desta forma, a Figura 5 apresenta a síntese das médias obtidas e o desvio padrão associado a cada tratamento da interface de união. Vale destacar que a resistência obtida na segunda concretagem (21,92 MPa) é o limite superior de desempenho esperado. Conforme observado no gráfico, as interfaces tratadas com adesivos epóxi (B e C), graute e com apicoamento apresentaram valores muito próximos a este patamar, com diferenças numéricas pequenas (menores que 0,5) diante da margem de erro estatística. Ou seja, estas soluções foram capazes de garantir, com grande eficiência, a monoliticidade do concreto, com os corpos de prova resistindo como um elemento único, maciço e sem juntas ou divisões significativas que comprometessem sua resistência, transferindo de forma eficiente os esforços.

Ao realizar a análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 5%, verificou-se diferença significativa entre os grupos com um valor-P de $1{,}63x10^{-7}$. O teste F resultou em 16,94, superando fortemente o F crítico de 2,39. Ou seja, o tipo de tratamento superficial influencia o desempenho mecânico da interface concreto-concreto. Após essa constatação foi realizada a comparação múltipla de médias com o teste de Tukey (para k=10 e gl=20). A Figura 6 apresenta as comparações múltiplas de médias, em que as linhas horizontais contínuas vermelhas indicam a formação de grupos estatisticamente equivalentes, a ser explicado na sequência.

Figura 5 – Resistências médias à compressão e desvios padrão.

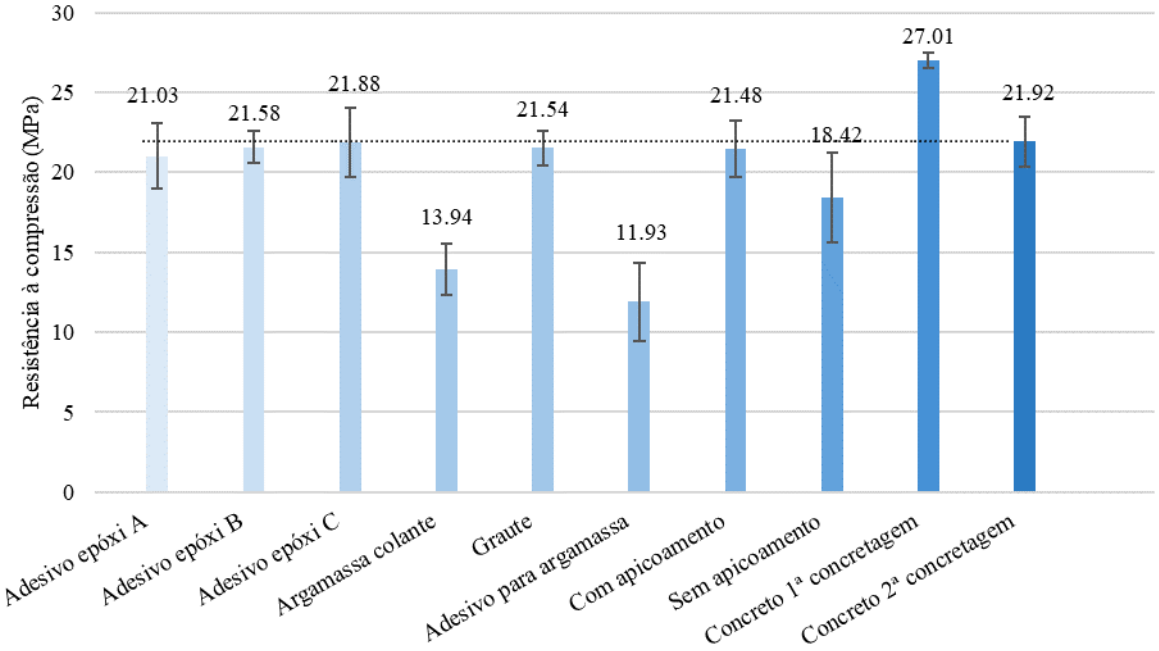
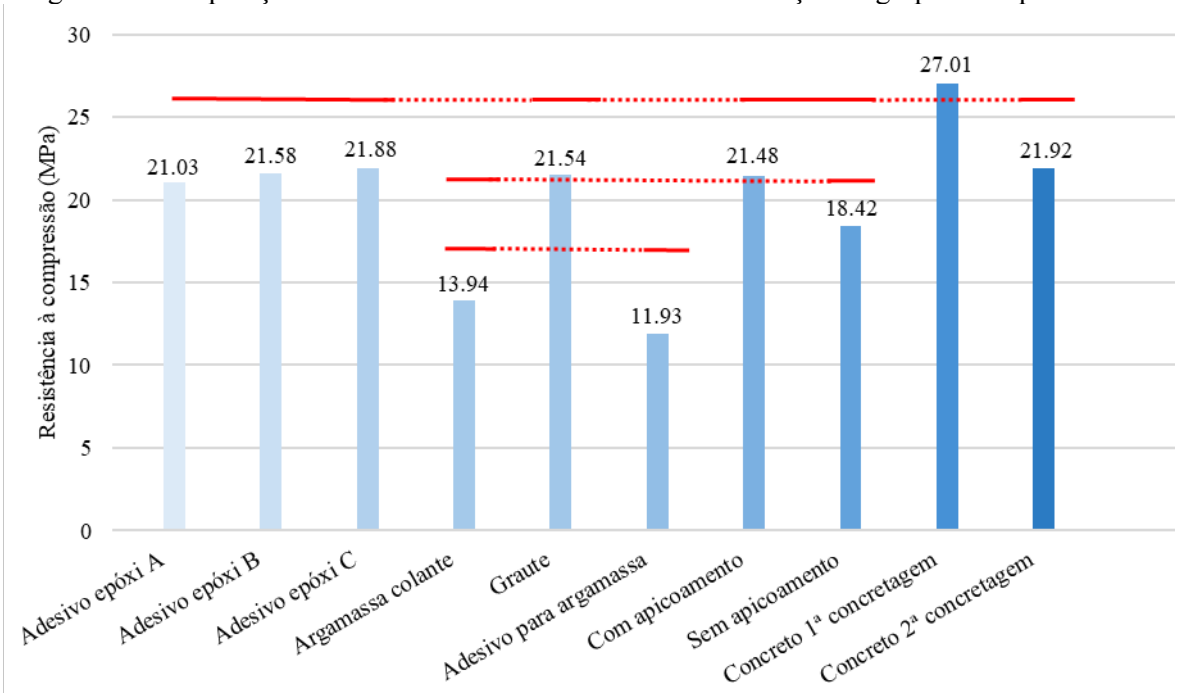


Figura 6 – Comparação entre as médias de resistência e identificação de grupos de equivalência.



Sob o ponto de vista estatístico, os resultados indicam que as soluções com adesivo epóxi (A, B e C), graute, com apicoamento e sem apicoamento são equivalentes entre si, caracterizando o grupo de melhor desempenho. Nos limites inferiores, o adesivo para argamassa e a argamassa colante são estatisticamente equivalentes entre si, mas ambos são diferentes (inferiores) de todas as outras soluções. Apesar da solução com apicoamento (21,48) ser estatisticamente equivalente à solução sem apicoamento (18,42) - e aos adesivos epóxi e ao graute - a solução sem apicoamento mostra sinais de fraqueza, aproximando-se, estatisticamente, dos limites inferiores, sendo também equivalente estatisticamente à argamassa colante. Assim, esta condição situa-se em uma zona de

transição: não é suficientemente inferior para ser declarada diferente dos adesivos epóxi, contudo também não é suficientemente superior para se distanciar da argamassa colante.

Portanto, as análises demonstraram que o uso de adesivos epóxi (A, B ou C) ou de material cimentício do tipo graute resultaram em um desempenho estatisticamente equivalente, não havendo superioridade de um material sobre o outro. Além disso, a aplicação de agentes de ligação não proporcionou ganho estatisticamente significativo em relação ao simples preparo mecânico da superfície com apicoamento. Observa-se que, numericamente, algumas soluções cimentícias apresentaram desempenho inferior, como verificado para o adesivo para argamassa e para a argamassa colante. Apesar de o teste de Tukey não ter indicado diferença estatisticamente significativa entre as condições com e sem apicoamento, verificou-se redução de 14,24% na resistência média à compressão quando a superfície não foi apicoada.

Embora manter a superfície natural da concretagem - não apicoar - não tenha resultado em uma perda de resistência estatisticamente absoluta em comparação ao grupo de melhor desempenho, sua proximidade com os valores das argamassas colantes sugere uma menor margem de segurança estrutural. Sob este aspecto, tecnicamente recomenda-se a execução do apicoamento manual. Esta solução assegura um desempenho equivalente ao dos adesivos estruturais - de alto custo - e ao limite de resistência do concreto de segunda etapa de concretagem (limite superior de resistência), configurando-se como a alternativa mais eficiente em termos de custo-benefício e confiabilidade para a união entre concretos de idades distintas.

4. CONCLUSÕES

Nos corpos de prova analisados nesse estudo os maiores valores de resistência à compressão foram obtidos com adesivos epóxi, graute e apicoamento, e a análise de variância demonstrou que não houve diferença estatística entre os resultados obtidos por essas soluções. Algumas soluções cimentícias apresentaram desempenho inferior do que a opção sem apicoamento, ou seja, em alguns casos, tentar aplicar um tratamento na interface de união foi mais prejudicial do que benéfico. Concluiu-se que o preparo da interface apenas com o apicoamento superficial é uma solução que pode garantir, com grande eficiência, a monoliticidade do concreto e a continuidade estrutural, e que se configura como uma solução tecnicamente adequada e economicamente racional para a união de concretos de idades distintas. Ressalta-se que os resultados obtidos são válidos apenas para a amostra analisada, e mais estudos são necessários para conclusões mais definitivas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelos materiais concedidos e pela disponibilidade de uso da infraestrutura do laboratório para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, T. *et. al.* **Estudo comparativo da eficiência entre diferentes tipos de tratamento de juntas de concretagem**. *In*: Memorias del XVII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XVIX Congreso de Control de Calidad en la Construcción, CONPAT 2023. Santa Cruz de la Sierra (BOL), (pp. 10). DOI: https://doi.org/10.21041/CONPAT2023/V1CC1920.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14.931: **Execução de estruturas de concreto, protendido e com fibras - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2023.

BEUSHAUSEN, H.; ALEXANDER, M. G. **Bond strength development between concretes of different ages**. Magazine of Concrete Research, v. 60, n. 1, p. 65-74, 2008.

BISSONNETTE, B.; COURARD, L.; BEUSHAUSEN, H.; FOWLER, D.; TREVINO, M.; VAYSBURD, A. **Recommendations for the repair, the lining or the strengthening of concrete slabs or pavements with bonded cement-based material overlays**. Materials and Structures, v. 46, p. 481- 494, 2013.

COSTA, H.; CARMO, R. N. F.; JÚLIO, E. **Influence of lightweight aggregates concrete on the bond strength of concrete-to-concrete interfaces**. Construction and Building Materials, v. 180, p. 519–530, 2018.

DORIA, M. R.; SALES, A. T. C.; ANDRADE, N. F. A. **Aderência aço-concreto e entre concretos de diferentes idades em recuperação de estruturas**. IBRACON Structures and Materials Journal, v. 8, n. 5, p. 615-624, 2015.

EL AFANDI, M. *et al.* **Concrete-to-concrete bond strength: a review**. Construction and Building Materials, v. 363, 129820, 2023.

KAUR, M.; CHAWLA, H.; KWATRA, N**. Effect of GO-modified epoxy on the bond behavior of old-new concrete and comparison with different surface preparation techniques**. Construction and Building Materials, v. 396, 132369, 2023.

LI, M.; LI, V. C. **High-early-strength engineered cementitious composites for fast, durable concrete repair – material properties**. ACI Materials Journal, v. 108, n. 1, January-February 2011.

PAPOULIDOU, S. *et al.* **Concrete-to-concrete interfaces: interlocking architecture for improved toughness**. Engineering Fracture Mechanics, v. 329, 111547, 2025.

SANTOS, D. S.; SANTOS, P. M. D.; DIAS-DA-COSTA, D. **Effect of surface preparation and bonding agent on the concrete-to-concrete interface strength**. Construction and Building Materials, v. 37, p. 102–110, 2012.

SOUZA, V. C. M; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2005.

XIA, J. *et al.* **Shear-friction behavior of concrete-to-concrete interface under direct shear load**. Engineering Structures, v. 238, 112211, 2021.

ZHAO, K. *et al.* **Effect of roughness and adhesive on the strength of concrete-to-concrete interfaces cast from 3D-printed prefabricated plastic formworks**. Construction and Building Materials, v. 368, 130423, 2023.

CAPÍTULO 23 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/72xga640
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/hn0nxk78

CRACK-BRIDGING ABILITY: ENERGIA ABSORVIDA COMO PARÂMETRO INTEGRADOR DE DESEMPENHO PARA MEMBRANAS

Francisco Rey Puente[1]*; Thiago Vallotti de Freitas[2]
*Autor de contato: fpuente@soprema.com.br

[1] Soprema Ltda., São Paulo, Brasil
[2] Instituto Brasileiro de Impermeabilização, São Paulo, Brasil

RESUMO

A fissuração em substratos é um dos principais indutores de manifestações patológicas relacionadas à água em edificações. O Crack-Bridging Ability (CBA), é tradicionalmente conduzida experimentalmente pela EN 1062-7, por meio da quantificação do CBA (em mm) de uma membrana. Porém, somente esta técnica de análise, não é suficiente, para uma avaliação mais profunda do comportamento mecânico da membrana. Analisou sistemas impermeabilizantes por membranas acrílicas (MAc) submetidos a diferentes configurações experimentais, de espessura de filme seco (efs) e da adição de reforço. Como resultado, o valor do CBA apresentou aumento de 80% quando a MAc estava com efs de 1,0mm, face à efs média de 0,5mm, obtida pelo consumo indicado nas Fichas Técnicas (FT) dos Fabricantes. Já o valor de CBA, da MAc com efs de 1,5mm estruturada, em 6 de 9 casos, aumento de 21 a 41%, quando comparada à efs de 1,0mm e não estruturada. Quanto a Energia Absorvida (mJ), houve incremento de até 130% para efs de 1,0mm, face à efs de consumo de FT. Quando reforçados, com efs de 1,5mm, o aumento foi de 280%, face a efs de 1,0mm sem estruturante. Corroborando a importância da introdução da energia absorvida como critério complementar ao CBA.
Palavras-chave: impermeabilização; membrana, acrílica; cba; energia;

ABSTRACT

Cracking in substrates is one of the main drivers of water-related pathological manifestations in buildings. Crack-Bridging Ability (CBA) is traditionally evaluated experimentally according to EN 1062-7, through the quantification of a membrane's CBA (in mm). However, this technique alone is not sufficient for a more in-depth assessment of the membrane's mechanical behavior. Waterproofing systems based on acrylic membranes (AcM) were analyzed under different experimental configurations, considering variations in dry film thickness (DFT) and the incorporation of reinforcement. The results showed that the CBA value increased by approximately 80% when the AcM had a DFT of 1.0 mm, compared to the average DFT of 0.5 mm obtained from the consumption indicated in the manufacturers' technical data sheets (TDS). For AcM with a DFT

of 1.5 mm and with reinforcement, CBA increased in 6 out of 9 cases by approximately 21% to 41% when compared to the non-reinforced system with a DFT of 1.0 mm. Regarding absorbed energy (mJ), an increase of up to 130% was observed for the 1.0 mm DFT compared to the TDS-based consumption thickness. When reinforced and with a DFT of 1.5 mm, the increase reached approximately 280% compared to the non-reinforced system with a DFT of 1.0 mm. These results corroborate the importance of introducing absorbed energy as a complementary criterion to CBA.
Keywords: waterproofing; acrylic membrane; crack-bridging ability; energy absorption.

1. INTRODUÇÃO

A fissuração em elementos de concreto e argamassa decorre de retração, variações térmicas, deformações diferenciais e ações estruturais, e constitui uma das principais causas de falhas em sistemas impermeabilizantes aderidos ou parcialmente aderidos a estes substratos. Quando não adequadamente tratada, constitui vetor primário de infiltração, desencadeando processos patológicos como corrosão de armaduras, destacamento de revestimentos e perda de desempenho funcional. A prevenção dessas manifestações exige que sistemas impermeabilizantes aplicados sobre substratos fissuráveis apresentem capacidade de absorção e acomodação de abertura de fissurações, mantendo integridade e estanqueidade. Os sistemas de impermeabilização são utilizados para mitigar as manifestações patológicas causadas pela infiltração da água e umidade, protegendo e conservando a integridade das construções civis (MORAES, 2002; SOARES, 2014; SOUZA, 2008). Quando aplicados de acordo com um critério técnico, isto é, são projetados de acordo com as necessidades de cada aplicação e utilizam os materiais adequados, considerando a especificidade de cada substrato, apresentam características de estanqueidade tal que atingem sua finalidade (NBR 9574, 2008). Esforços nas estruturas de concreto cobertas com sistemas impermeabilizantes podem ocasionar trincas e fissuras, que comprometem a estanqueidade da estrutura e podem incorrer em manifestações patológicas causadas pela ruptura da camada impermeável (NASCIMENTO et al.; SOARES, 2014). Por isso, espera-se que o sistema, a camada impermeabilizante, e seus materiais, estejam adequados para tal solicitação. Segundo Dos Santos (2021), a análise da capacidade de um sistema impermeabilizante para absorver a ocorrência de trincas e fissuras é importante para que seja possível a diferenciação dos comportamentos dos diversos sistemas na prática construtiva. Atualmente, as normas brasileiras indicam metodologias para materiais impermeabilizantes de forma isolada, sem considerar as condições de uso, restringindo-se a normatizar a qualidade dos materiais quanto à aprovação ou reprovação industrial (DOS SANTOS, 2021).

O *Crack-Bridging Ability* (CBA) constitui-se de um método de ensaio adotado para medir a capacidade de uma camada impermeabilizante na absorção e acomodação de fissurações, decorrentes das movimentações estruturais que ocorrem no substrato aos quais estão aderidas (EN 1062-7, 2004). A EN 1062-7 estabelece procedimento para determinação do CBA, definida como a abertura máxima de fissuração, medida em milímetros (mm), suportada pelo sistema. Entretanto, no contexto brasileiro, ainda não há método nacional consolidado que incorpore parâmetros adicionais capazes de representar integralmente o comportamento de sistemas impermeabilizantes aderidos ou parcialmente aderidos ao substrato.

O presente estudo analisou nove sistemas impermeabilizantes do tipo Membrana Acrílica (ABNT NBR 13321) submetidos a quatro configurações experimentais: espessura conforme o consumo mínimo de Ficha Técnica (FT) fabricante, (em kg/m²), com espessura de filme seco (efs) controlada de 1,0 mm, dois casos com espessura de 1,5 mm com reforço estrutural nas orientações longitudinal

(TL) e transversal (TT). Foram avaliados os parâmetros de abertura máxima de fissuração (mm), força e tensão de ruptura (N e MPa) e energia absorvida na fissuração (mJ).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

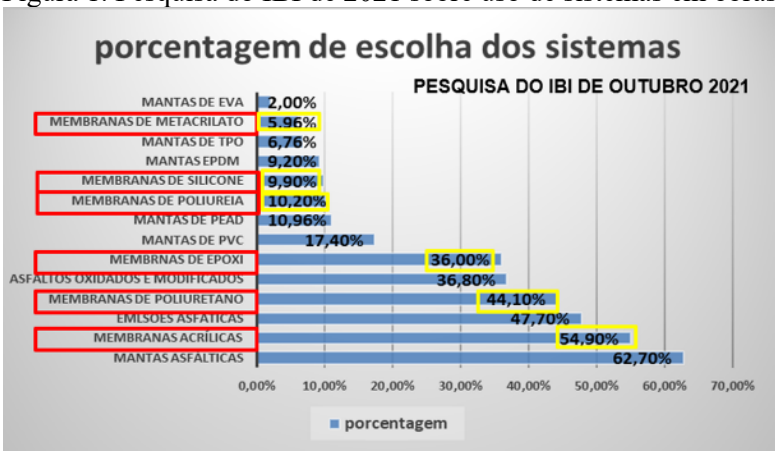
O CBA está diretamente associado à manutenção da estanqueidade ao longo da vida útil, uma vez que a abertura de fissuras no substrato constitui o principal mecanismo de falha em sistemas impermeabilizantes aderidos. A perda desta capacidade resulta na formação de caminhos preferenciais para a água, desencadeando manifestações patológicas clássicas, como corrosão de armaduras, destacamento de revestimentos e degradação funcional do sistema.

O objetivo deste estudo é propor uma forma de comparar os sistemas impermeabilizantes testados, MAcs, com ou sem reforço e aderidos ao substrato, de forma mais assertiva, analisando além do CBA em mm, também a Energia Absorvida em mJ. Isto permite a seleção de produtos mais duráveis, sustentáveis e adequados aos projetos de impermeabilização, e permite melhor custo/benefício na sua utilização, trazendo benefícios econômicos diretos através da escolha do produto ou sistema de melhor desempenho face à fissuração.

2.1 Motivações do mercado

No mercado brasileiro de impermeabilização nota-se uma participação substancial na utilização de membranas nas construções (Figura 1), por volta de 45% das edificações analisadas, tem alguma solução impermeabilizante tipo membrana, seja em construções com projetos de impermeabilização existentes, seja em obras que não possuem projeto de impermeabilização específico, mas necessitam inevitavelmente, de incorporação deste processo, como em caixas d'água, lajes, coberturas, floreiras, garagens ou outras aplicações específicas. Esta participação, segundo o Instituto Brasileiro de Impermeabilização – IBI, deve-se à facilidade de utilização destes materiais, simplicidade para manutenção, reparos e versatilidade de aplicações.

Figura 1. Pesquisa do IBI de 2021 sobre uso de sistemas em obras



Fonte: publicações de pesquisa técnica IBI, 2021

Entretanto, apesar da crescente popularidade, observa-se que não há Normas Técnicas nacionais específicas para a condução de ensaios acerca da capacidade, ou aptidão, destas membranas em absorver as fissurações novas, que possam surgir em uma estrutura em que elas sejam aplicadas. Este fato impede comparações entre os diferentes produtos oferecidos pelo mercado e a sua classificação para maior compreensão de seus custos/benefícios pelos consumidores.

2.2 Crack Bridging Ability (CBA)

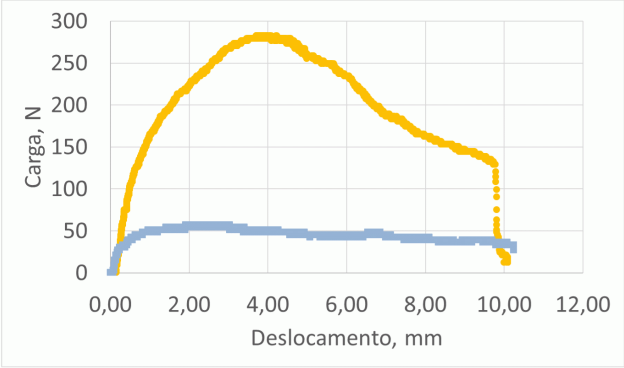
A classificação e a caracterização dos sistemas aderidos são normatizadas principalmente na Europa pela EN 1504-2 (2010), que possui parâmetros de classificação visando qualificar os sistemas impermeabilizantes escolhidos. Nesta Norma o CBA é considerado um parâmetro de qualificação de um produto, refletindo melhor as condições de obra do que os ensaios convencionais de alongamento e tração, que são propriedades do produto ensaiados em condições de maior grau de liberdade de movimentação, adotando a Norma EN 1062-7 (2004) como metodologia de classificação do CBA dos sistemas de impermeabilização do tipo *Coating* (C).

A Norma Europeia EN 1062-7 (2004) aborda o conceito de CBA, como a capacidade apresentada por um sistema de revestimento, como a impermeabilização, de absorver as fissuras resultantes das deformações do substrato. Indica que CBA é o resultado da medida, em micrômetros ou milímetros, da abertura de fissura medida no substrato quando a primeira fissura é observada na camada impermeável após o ensaio. O CBA representa a capacidade do sistema de absorver abertura progressiva de fissura, sem ruptura, e pode estar relacionado a três outros importantes parâmetros do produto, como alongamento, resistência a tração e aderência ao substrato.

2.3 Energia absorvida

Analisou-se também a energia absorvida pelas membranas ensaiadas, uma vez que o equipamento utilizado para medição fazia a leitura da força aplicada (N) no teste de CBA, durante o deslocamento contínuo (mm), a que eram submetidas as amostras. Esse parâmetro expressa a capacidade de dissipação energética do sistema e está diretamente relacionado à resistência de propagação de fissuras. A Figura 1 traz exemplos de MACs com CBAs equivalentes, mas com diferentes energias absorvidas, de baixa energia (cinza), e de alta energia (amarelo).

Figura 1. MAcs com CBAs equivalentes, baixa energia (cinza), alta energia (amarelo).



Fonte: os Autores

A Energia absorvida pela membrana durante o teste de CBA (mJ – miliJoules), da Equação 1, corresponde à integral das curva força × deslocamento, desde o início do teste, até o ponto de ruptura desta membrana: maiores valores numéricos evidenciam o aumento da área sob a curva nos sistemas estruturados, refletindo maior capacidade de absorção energética.

Equação 1. Energia Absorvida de CBA

$$E_{CBA} = \int_{d0\ inicial}^{dr\ ruptura} F(x).dx$$

Fonte: os Autores

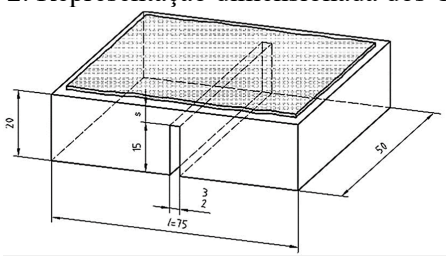
Onde: E_{CBA} é a energia absorvida (mJ),
F(x) é a função de Força (N) vs Deslocamento de CBA (mm),
d é a abertura da fissuração (mm).

3. METODOLOGIA

Iniciou-se com a utilização de placa padrão ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), confeccionados em padrão pela Norma ANBT NBR 14081-2 (2015), nas dimensões de 250 x 500 x 20 mm, com a seguinte composição básica: cimento CP-V ARI estrutural; areia de brita; areia quartzosa, ou seja, chamada areia rosa; água conforme traço estipulado pela norma. Na EN 1062-7, os produtos podem ser aplicados nas peças inteiras, calculando-se o consumo pela área total do corpo de prova, seguido de redimensionamento normatizado para os testes de CBA, com a utilização uma serra circular apropriada.

As amostras finais para ensaios de CBA apresentam dimensões finais de 75 x 50 x 20 mm (Figura 3), com um exemplo de Corpo de Prova (CP) apto ao teste, demonstrado na Figura 3.

Figura 2. Representação dimensionada dos CPs



Fonte: adaptado de NBR 14081-2 (2015)

Figura 3. Exemplo da amostra final do CP

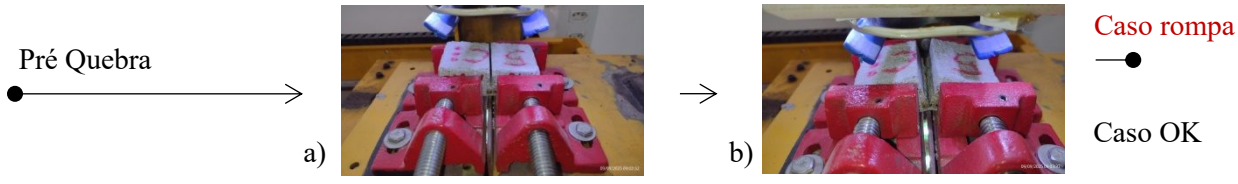


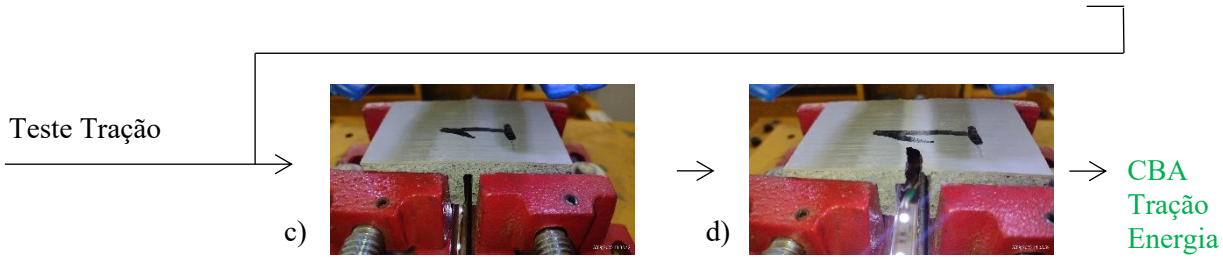
Fonte: os Autores

A membrana foi aplicada na face superior, conforme a metodologia escolhida, e na sua face oposta, centralizada, realizado um corte tipo fenda de 2 a 3 mm de espessura com 15 mm de profundidade, como meio de indução da fissuração, que simula uma fissura que possa surgir na estrutura, e que não havia no momento de aplicação da membrana.

Houve o ensaio inicial de pré quebra, conforme Figura 4, demonstrado, sendo a condição a) no início da pré quebra e a condição b) no final da pré quebra. Este é o primeiro ensaio classificatório e critério necessário para continuidade dos ensaios de tração, se a membrana ou o sistema se romper durante a pré quebra, considera-se o CBA = 0. Portanto aqui, a MAc não pode ser romper, e só uma vez aprovados, caso OK, os CPS serão usados posteriormente para se determinar a abertura de fissuração (CBA) por método tração contínua c) início de teste, até o estado limite que um produto ou sistema suporte até d) seu primeiro rompimento visível.

Figura 4. Detalhe da pré quebra previsto na norma EN 1062-7





Fonte: os Autores

4. AMOSTRAGEM

Avaliou-se 9 Produtos de diferentes fabricantes de impermeabilizantes, tipo Membrana Acrílica (MAc) da Norma ABNT NBR 13321 (2023). As condições de teste variaram de acordo com o consumo utilizado, a espessura de filme seco (efs) do sistema impermeabilizante utilizado, e também da ausência ou presença de tela estruturante, compondo as seguintes combinações:
1) Efs aleatória conforme consumo mínimo indicado pelo fabricante (FT);
2) Efs controlada de 1,0mm (mínimo da ABNT NBR 9575);
3) Efs controlada de 1,5mm com tela de reforço longitudinal (TL); e
4) Efs controlada de 1,5mm com tela de reforço transversal (TT);

Os ensaios permitiram determinar abertura de fissuração (CBA), força de tração (N), e tensão (MPa), obtida pela relação entre os parâmetros de força obtida e as medições de área de seção transversal das membranas testadas. A energia absorvida (mJ) é obtida através da aplicação numérica computacional da Equação 1 anteriormente demonstrada. Os ensaios foram realizados em forma de teste duplo cego, sem nenhuma identificação de marca ou modelo dos produtos impermeabilizantes testados, doravante com nomes descaracterizados apenas denominados pelas letras do alfabeto em maiúsculo conforme Tabela 1. Cada uma das 9 MAcs, possuem 4 conjuntos de corpos de prova (cp) testados de acordo com as condições demonstradas anteriormente.

Tabela 1. Descrição das amostras

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Amostras	01~04	05~08	09~12	13~16	17~20	21~24	25~28	29~32	33~36

Fonte: os autores

5. RESULTADOS

Foram consideradas no mínimo 3 amostras de CPs com resultados válidos para cada tipo de ensaio. Os dados experimentais foram analisados estatisticamente por meio de análise de médias, variâncias, desvios padrões, utilizando-se planilhas eletrônicas (Microsoft Excel).

5.1. Tipologia base com consumo das Fichas Técnicas (FT) dos fabricantes

A Tabela 3 demonstra resultados de todas as amostras (A até I), com a efs relativo ao consumo de cada FT de Fabricante, sem estruturante.

Tabela 3. consolidado – tipologia base (FT)

Sistema	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Força (N)	67	18	19	29	41	24	33	31	37

Tensão (MPa)	1,78	0,89	1,03	1,02	1,91	0,98	1,45	1,02	1,68
CBA (mm)	8,74	3,80	3,03	3,21	5,56	3,68	8,07	18,10	13,01
Energia (mJ)	454	50	38	77	172	61	203	391	339

Fonte: os autores

Resumo final da tipologia base (FT). Observada variação de CBA de 3,03mm a 18,10mm, e de energia de 38mJ a 454 mJ, variação da amplitude energética de aproximadamente 1173% entre produtos.

5.2. Tipologia base com espessura de filme seco de 1,0 mm independente do consumo

A Tabela 4 traz resultados de todas as amostras (A até I), com a efs de 1,0mm, sem estruturante.

Tabela 4. consolidado – tipologia espessura 1,0 mm

Sistema	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**
Força (N)	88	30	29	56	52	39	32	25	63
Tensão (MPa)	2,05	0,65	0,55	1,08	1,00	0,76	0,70	0,59	1,23
CBA (mm)	9,59	6,39	2,51	7,76	10,24	10,78	25,66	24,43	23,75
Energia (mJ)	683	136	46	362	395	279	611	346	1251

Fonte: os autores

Resumo final da tipologia espessura de 1,0mm. Observado a faixa de variação do CBA de 2,51 mm a 25,66mm, representando uma amplitude extremamente elevada e variação de 922% mesmo sob espessura padronizada. Já a faixa de energia variou de 46mJ a 1251mJ, mostrando variação 2619%, entre produtos.

Pontos importantes observados, que o produto “I” apresentou a maior dissipação energética (1251mJ), tendo um CBA elevado, porém não o maior (23,75mm). O produto “G” apresentou o maior CBA absoluto (25,66 mm), mas com energia expressivamente inferior ao produto “I” (611mJ). Indiciando que o valor de CBA isolado, pode não expressar totalmente requisitos de desempenho, e a energia absorvida pode complementar e refinar esta análise. Os valores de CBA oscilaram entre 2,51mm e 25,66mm, enquanto a energia absorvida variou entre 46mJ e 1251mJ. Tal amplitude evidencia que o desempenho não está diretamente associado apenas à efs de material impermeabilizante aplicado, diferenciando de maneira significativa, o desempenho entre estes produtos.

5.3. Tipologia base com uso de estruturante aplicado no sentido longitudinal

O estruturante escolhido para os ensaios foi testado antes da realização dos ensaios, como sendo um estruturante do tipo anisotrópico, isto é, aquele em que as propriedades mecânicas da tela variam em função da direção em que é testada, assim sendo realizou-se mais duas baterias de ensaios. Considerando a tela aplicada no seu sentido longitudinal (TL), de maior tração e menor alongamento, demonstrada na (Tabela 5).

Tabela 5. consolidado da tipologia 1,5 mm + TL (tela longitudinal)

Sistema	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**

Força (N)	328	229	184	272	281	255	255	262	272
Tensão (MPa)	4,62	3,01	2,37	3,70	3,55	3,53	3,13	3,11	3,34
CBA (mm)	12,55	12,48	6,76	10,21	12,27	12,30	25,93	22,08	19,03
Energia (mJ)	2338	1602	925	1728	1861	1692	2628	2036	2334

Fonte: os autores

Resumo final da tipologia espessura de 1,5 mm + TL, observado que a variação de CBA foi de 6,76mm a 25,93mm, e a faixa de energia foi de 925mJ a 2628mJ, comparada a tipologia de 1,0 mm sem estruturante, para um aumento teórico de 50% de efs na versão estruturada. A energia absorvida aumentou 184%.

Percebeu-se ainda que a introdução da tela no sentido longitudinal, eleva drasticamente a capacidade de absorver energia, melhora o comportamento mecânico, reduz a dispersão estatística e aumenta drasticamente o patamar de tensão de ruptura. (conforme demonstrado na Figura 1, gráfico em amarelo). O comportamento mecânico deixa de ser do tipo padrão elástico/plástico típico de uma membrana polimérica, e passa a de um sistema compósito (produto + tela estruturante).

Observa-se que o produto “G” novamente apresenta maior CBA (25,93mm), porém os produtos “A” e “I” demonstram energias praticamente equivalentes ao “G” (~2330mJ), mesmo com CBAs substancialmente menores. Corroborando que o valor de CBA isolado, não expressa totalmente os requisitos de desempenho, sendo a energia absorvida importante para o complemento e refino desta análise.

5.4 Tipologia base com uso de estruturante aplicado no sentido transversal

Considerando a tela aplicada no seu sentido transversal (TT) de menor tração e maior alongamento (Tabela 6).

Tabela 6. consolidado da tipologia 1,5 mm + TT (tela transversal)

Sistema	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Força (N)	301	201	163	235	249	222	241	229	248
Tensão (MPa)	4,03	2,53	2,10	3,00	3,30	3,17	3,08	3,34	3,02
CBA (mm)	11,27	11,80	5,58	9,00	9,49	10,21	20,26	20,64	18,47
Energia (mJ)	1892	1432	696	1350	1378	1093	2194	1802	2134

Fonte: os Autores

Resumo final da tipologia espessura de 1,5mm com tela transversal (TT), observado que a faixa de CBA variou de 5,58mm a 20,64mm, e a faixa de energia de 696mJ a 2194mJ.

Comparando-se o desempenho dos Produtos com tela no sentido longitudinal (TL) e transversal (TT), obtém-se a Tabela 7.

Tabela 7. Comparação resultados médios entre TL e TT

Parâmetro	1,5 mm + TL	1,5 mm + TT

Tensão máx (MPa)	4,62	4,03
CBA máx (mm)	25,93	20,64
Energia máx (mJ)	2628	2194

Fonte: os autores

Quanto ao uso do estruturante, a orientação longitudinal (TL) promove desempenho mecânico superior à transversal (TT), tanto em tensão, (14%), absorção energética (19%), e em CBA (25%), sendo o comportamento anisotrópico do sistema impermeabilizante MAC compósito.

6. DISCUSSÃO

Os resultados evidenciam diferenciação de regime mecânico entre configurações sem reforço e sistemas estruturados. Quando estruturados, os sistemas testados apresentaram CBA com grande incremento entre as configurações, enquanto a energia absorvida revelou crescimento expressivo ainda maior, indiciando uma assertividade do compósito, com correta sinergia entre os produtos impermeabilizantes (matriz) com a tela estruturante (disperso).

A orientação do reforço influencia de forma marginal o desempenho, com leve vantagem para o sentido longitudinal, evidenciando comportamento anisotrópico relevante para especificação técnica, projeto de impermeabilização e aplicação. Resultados que correlacionam melhores propriedades mecânicas correlacionadas, como altas trações, grandes alongamentos, e melhoria do CBA, foram observadas por HONG, et al. 2015 e WALDVOGEL M. 2020. Sob a ótica da patologia das construções, observou-se nesse estudo que sistemas com maior capacidade de absorção energética tendem a apresentar maior resistência à propagação de fissuras induzidas por movimentações estruturais e térmicas, contribuindo para aumento da durabilidade e redução de manifestações patológicas.

Propõe-se a incorporação da energia absorvida como critério complementar ao CBA, contribuindo para a consolidação de método adaptado ao contexto brasileiro e para o avanço da normalização do CBA. Como perspectiva de continuidade, propõe-se a ampliação da aplicação do conceito de CBA associado à energia absorvida para sistemas de revestimentos de fachadas, considerando sua relevância na mitigação de fissuração em elementos verticais.

7. CONCLUSÕES

A Tabela 8 traz os valores médios de CBA (mm), na condição de 1,5 mm + TL, obtidos pelas amostras (A até I), em ordem crescente (do pior para o melhor).

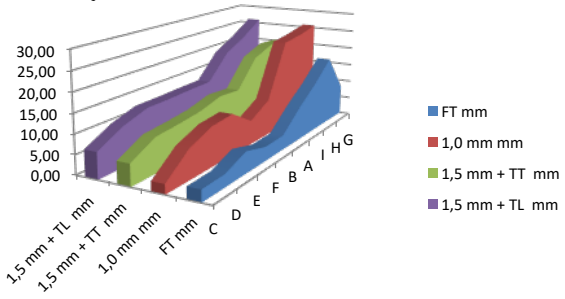
Tabela 8. Classificação em ordem crescente de CBA (mm)

Sistema	**C**	**D**	**E**	**F**	**B**	**A**	**I**	**H**	**G**
Amostras	**09~12**	**13~16**	**17~20**	**21~24**	**05~08**	**01~04**	**33~36**	**29~32**	**25~28**
FT	3,03	3,21	5,56	3,68	3,8	8,74	13,01	18,1	8,07
1,0 mm	2,51	7,76	10,24	10,78	6,39	9,59	23,75	24,43	25,66
1,5 mm + TT	5,58	9,00	9,49	10,21	11,8	11,27	18,47	20,64	20,26
1,5 mm + TL	6,76	10,21	12,27	12,3	12,48	12,55	19,03	22,08	25,93

Fonte: os autores

Para melhor entendimento, conforme gráfico 1, explicita-se resultados obtidos de CBA para cada sistema (A até I) nas quatro tipologias testadas (FT, 1,0mm, 1,5mm + TT, 1,5mm + TL).

Gráfico 1. Classificação de Produtos em ordem decrescente de CBA (mm)



Fonte: os autores

Quanto a análise tradicional do valor do CBA (mm), notou-se melhorias à medida que se aumentou o consumo do produto quando não estruturado. Para uma efs de 1,00mm, as MAcs obtiveram desempenho na ordem de 80 % superior se comparado ao consumo indicado de FT (com efs média de 0,51mm). Embora houvesse aumento de CBA com o incremento da efs, esta relação não é proporcional.

Já, o valor do CBA (mm), com a efs de 1,50mm e inclusão de reforço, tanto no sentido transversal TT, como no sentido longitudinal TL, trouxe na maioria dos casos (6 das 9 amostras), melhoria na ordem de 21 a 41%, do CBA (mm), em relação ao efs de 1,00mm não reforçado.

A Tabela 9 traz os valores médios de Energia Absorvida (mJ), na condição de 1,5 mm + TL, obtidos pelas amostras (A até I), em ordem crescente (do pior para o melhor).

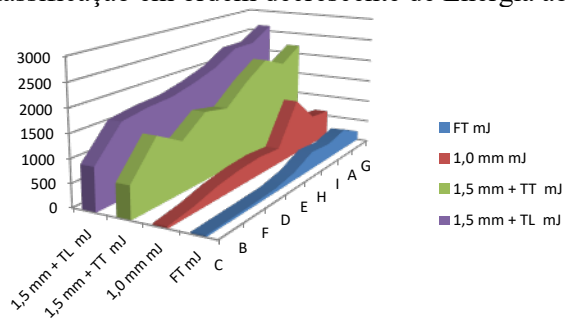
Tabela 9. Classificação em ordem crescente de Energia absorvida (mJ)

Sistema	**C**	**B**	**F**	**D**	**E**	**H**	**I**	**A**	**G**
Amostras	**09~12**	**05~08**	**21~24**	**13~16**	**17~20**	**29~32**	**33~36**	**01~04**	**25~28**
FT	38	50	61	77	172	391	339	454	203
1,0 mm	46	136	279	362	395	346	1251	683	611
1,5 mm + TT	696	1432	1093	1500	1378	1802	2134	1892	2194
1,5 mm + TL	925	1602	1692	1728	1861	2036	2334	2338	2628

Fonte: os autores

Conforme gráfico 2, explicita-se resultados obtidos de Energia Absorvida para cada sistema (A até I) nas quatro tipologias testadas (FT, 1,0mm, 1,5mm + TT, 1,5mm + TL).

Gráfico 2. Classificação em ordem decrescente de Energia absorvida (mJ)



Fonte: os autores

Quanto a análise energética (mJ), percebe-se que o valor do CBA (mm), melhora à medida que se aumenta o consumo do produto quando não estruturado. Para uma efs de 1,00mm, as MAcs obtive-se desempenho na ordem de 130 % superior se comparado ao consumo indicado de FT (com efs média de 0,51mm). Portanto, nota-se ganho proporcionalmente superior de absorção de energia, face a um aumento de espessura. Quando estruturados, a análise energética absorvida (mJ), com a efs de 1,50mm e inclusão de reforço, tanto no sentido transversal TT, como no sentido longitudinal TL, trouxeram em todos os casos, melhoria expressiva na ordem de 280%, em relação a energia absorvida (mJ) quando efs de 1,00mm não reforçado.

Conclui-se que:

1. Espessura isolada (efs), não explica desempenho frente à fissuração.
2. Formulação e estequiometria do produto impermeabilizante é determinante para o desempenho quanto à fissuração.
3. A inserção de tela estruturante, transformando o sistema em compósito, promove, na maioria dos casos, melhorias da abertura, CBA (mm), e aumento expressivo da energia absorvida (mJ) na fissuração em todos os casos.
4. Orientação da tela altera marginalmente o desempenho (anisotropia), com favorecimento no sentido de maior resistência a tração (TL).
5. O CBA, consolida-se não somente como parâmetro de caracterização de produto, mas um parâmetro de desempenho refletido na capacidade de dissimular fissuras em mm (CBA) , como também propriedades mecânicas e de absorção de energia em mJ.
6. Energia absorvida é parâmetro complementar indispensável ao CBA, pois o incremento energético supera significativamente o crescimento do CBA.
7. A adoção conjunta de CBA e energia absorvida contribui significativamente para o avanço da normalização nacional aplicada à prevenção de patologias construtivas.

8. AGRADECIMENTOS

8. Ao Engº Paulo Henrique Vasconcelos, pela colaboração da IMPERLAB, na condução dos ensaios. Aos proprietários do equipamento de testes ELF-001 por participar no desenvolvimento deste estudo e concessão. Ao Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI), seu Diretor Executivo, Engº José Miguel Morgado, por todo o empenho para a realização dos ensaios. Ao Grupo Técnico do CBA - IBI, com objetivo de fortalecer a discussão e buscar a normalização do CBA. E, a Alconpat Brasil pelo fomento do conhecimento no setor de patologias da construção civil.

9. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13321 Membrana acrílica para impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2023.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-2. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575 Impermeabilização – Seleção e projeto.** Rio de Janeiro, 2010.

CUNHA, E. S, IPT. **Ensaio de aptidão para dissimular fissuras**. IPT/ ROBLES-ICOBIT, RELATÓRIO DE ENSAIO 72400. 6 p. São Paulo, SP, Brasil. 2004.

DOS SANTOS, Julie Anne B.; MONTE, Renata. **Evaluation of the Crack-Bridging Ability of waterproofing membranes using indirect tensile test and digital image correlation**. Journal of Building Engineering, v. 45, p. 103667, 2022.

DOS SANTOS, Julie Anne Braun; SANTOS, Felipe Pereira; MONTE, Renata. **Avaliação da transferência de fissuras em sistemas de impermeabilização aderidos.** PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 12, p. e021003-e021003, 2021.

EUROPEAN STANDARD. 1062-7: **Paints and varnishes Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete** Part 7: **Determination of crack bridging properties**. Brussels, 2004.

EUROPEAN STANDARD. 1504-2: **Products and systems for the protection and repair of concrete structures Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity** Part 2: **Surface protection systems for concrete.** Brussels, 2010.

GT-CBA, Instituto Brasileiro de Impermeabilização - IBI, **Documentos técnicos, atas e guias.** São Paulo, IBI, 2024.

HONG ZHAO, et al. **Study on Crack Bridging Ability of Polymer-Modified Cement Based Compounds for Waterproofing Material.** Advanced Materials Research (Volume 1129). China. 2015.

MORAES, C.R.K. **Impermeabilização em lajes de cobertura: levantamento dos principais fatore envolvidos na ocorrência de problemas na cidade de Porto Alegre**. 2002, 91p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – UFRGS.

NASCIMENTO, A.; OLIVEIRA, D.P.; BRANDÃO, P.R.S.; MOREIRA, K,A,W. **Projeto de Impermeabilização Como Medida Preventiva de Manifestações Patológicas em Edificações** – Estudo de Caso. Revista Eletrônica Multidisciplinar FACEAR (ISSN: 2316- 2317)

REY PUENTE, F; et al. **Estudo comparativo da capacidade de crack-bridging ability em membranas de polímero acrílico sem cimento.** TCC no IDD Curitiba, 2022.

SOARES, F.F. **A importância do projeto de impermeabilização em obras de construção civil. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

SOUZA, M.F. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações.** 2008. 64f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

WALDVOGEL, M.; ZURBRIGGEN, R.; BERGER, A.; HERWEGH, M. 2020. **The microstructural evolution of cementitious, flexible waterproofing membranes during deformation with special focus on the role of crazing**. Cement and Concrete Composites, 107, 103494.

CAPÍTULO 24 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/kceh2328
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/sdpyvz59

AVALIAÇÃO QUÍMICO-MINERALÓGICA E MICROESTRUTURAL DA ADIÇÃO DE SILICATO DE ETILA EM PASTAS DE CIMENTO

Eduardo Pereira[1]; Adriana Fiori Moura[1]*; Eloise Aparecida Langaro[1]; Maria Vitoria Pedroso[1] e Matheus Villian Valenga[1]
*Autor de contato: a.fiorimoura@gmail.com

[1] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil

RESUMO

Silicatos de etila podem formar sílica amorfa por hidrólise e condensação, com potencial de modificar os produtos de hidratação e a microestrutura de matrizes cimentícias. Este trabalho avalia os efeitos da adição do silicato de etila TS28 em pastas de cimento Portland CP V-ARI, com relação água/cimento de 0,57, nos teores de 1%, 5% e 10% em relação à massa de cimento, em comparação ao traço de referência. Aos 28 dias, as amostras foram investigadas por difração de raios X, termogravimetria e derivada termogravimétrica, e microscopia eletrônica de varredura. Os difratogramas indicaram a manutenção das fases hidratadas usuais, sem surgimento de novas fases cristalinas, com variações discretas na intensidade relativa das reflexões atribuídas à portlandita em teores mais elevados. As curvas TG/DTG evidenciaram resposta dependente do teor de adição, com redução do evento associado à desidroxilação de $Ca(OH)_2$ em 10%, aumento progressivo da massa residual e maior contribuição relativa do evento em altas temperaturas. As micrografias de MEV mostraram matriz heterogênea, com precipitados localizados e regiões de aspecto amorfo compatíveis com produtos silicatados de baixa cristalinidade. Em conjunto, os resultados indicam que o TS28 modifica a evolução dos produtos de hidratação e a organização microestrutural do sistema de forma dependente do teor de adição, contribuindo para o entendimento do mecanismo de atuação do TEOS em matrizes cimentícias.
Palavras-chave: Silicato de etila; TS28; pasta de cimento; DRX; TG/DTG.

ABSTRACT

Ethyl silicates may form amorphous silica through hydrolysis and condensation, with the potential to modify hydration products and the microstructure of cementitious matrices. This study evaluates the effects of adding the ethyl silicate TS28 to CP V-ARI Portland cement pastes at a water-to-cement ratio of 0.57, using contents of 1%, 5%, and 10% by mass of cement, compared with a reference mix. At 28 days, the samples were investigated by X-ray diffraction, thermogravimetry and derivative thermogravimetry, and scanning electron microscopy. XRD patterns indicated the persistence of the usual hydrated phases, with no appearance of new crystalline phases, and only discrete changes in the relative intensity of reflections attributed to portlandite at higher TS28 contents. TG/DTG curves showed a dosage-dependent response, including a reduction in the event associated with $Ca(OH)_2$ dehydroxylation at 10%, a progressive increase in residual mass, and a greater relative contribution of the high-temperature event. SEM micrographs revealed a heterogeneous matrix with localized precipitates and amorphous-like regions consistent with low-crystallinity silicate products. Overall, the results indicate that TS28 modifies the evolution of hydration products and the microstructural organization of the system in a dosage-dependent manner, contributing to the understanding of the mechanism of TEOS action in cementitious matrices.
Keywords: Ethyl silicate; TS28; cement paste; XRD; TG/DTG.

1. INTRODUÇÃO

Os materiais cimentícios desempenham papel central na indústria da construção, em função de sua ampla disponibilidade, resistência mecânica e versatilidade. Apesar disso, propriedades intrínsecas, como porosidade e fissuração em idades iniciais, podem comprometer desempenho e durabilidade, reduzindo a vida útil em condições de exposição mais severas. Nesse contexto, estratégias de modificação da matriz por meio de aditivos e modificadores químicos têm sido investigadas visando aprimorar a microestrutura e, consequentemente, o comportamento do material.

Dentre essas alternativas, destaca-se o ortossilicato de tetraetila (TEOS, $Si(OC_2H_5)_4$), cujo uso é consolidado na conservação e restauração do patrimônio construído, especialmente na consolidação de materiais porosos. Sua aplicação é atribuída à capacidade de penetrar na rede porosa e formar uma fase de sílica predominantemente amorfa por hidrólise e condensação, contribuindo para a coesão interna do substrato, sem alterar de modo substancial sua permeabilidade natural, quando adequadamente especificado e aplicado (Cahyandaru, 2021; Kapetanaki *et al*., 2020; Zhao *et al*., 2013; Watanabe *et al*., 2021). A transposição desse conceito para matrizes cimentícias tem motivado estudos em que o TEOS é incorporado à mistura, com o objetivo de influenciar a evolução microestrutural desde as primeiras idades (Cai *et al*., 2016; Haoxiang *et al*., 2021; Xu *et al*., 2019). No contexto nacional, também se destaca a discussão sobre o emprego de silicatos em estratégias de proteção e mitigação de processos deletérios em materiais cimentícios, incluindo abordagens relacionadas à proteção superficial e interação com o substrato cimentício (Langaro, 2023).

Do ponto de vista químico, o TEOS apresenta grupos etóxi ($-OC_2H_5$), que conferem reatividade em meio aquoso. Sua transformação envolve, inicialmente, hidrólise com formação de silanóis e liberação de etanol, seguida por reações de condensação que resultam na formação de dióxido de silício (SiO_2) no interior do sistema poroso (Sandrolini *et al*., 2012). Em matrizes cimentícias, sobretudo na presença de hidróxido de cálcio [$Ca(OH)_2$], a sílica pode participar de reações que conduzem à formação adicional de produtos do tipo silicato de cálcio hidratado (C-S-H), com implicações na densificação local da microestrutura e na evolução das propriedades do material (Barberena-Fernández *et al*., 2015; He *et al*., 2024). Entretanto, a cinética e a extensão dessas transformações são condicionadas pela disponibilidade de água, uma vez que a hidrólise e a policondensação do silicato competem, em diferentes graus, com a hidratação do cimento, tornando o teor de adição e as condições de mistura e cura variáveis críticas para obtenção de efeitos reprodutíveis, conforme também apontado em estudos voltados à proteção com silicatos e à interação com matrizes cimentícias (Langaro, 2023).

A literatura reporta efeitos do TEOS sobre a microestrutura de sistemas cimentícios, com possíveis implicações em porosidade, permeabilidade e indicadores de durabilidade, além de alterações no balanço de portlandita e na formação de produtos hidratados (Franzoni *et al*., 2013; Pigino *et al*., 2012; Husillos-Rodríguez *et al*., 2022; Koohestani *et al*., 2016; Langaro, 2023). Todavia, ainda são limitados os estudos que discutem, de forma integrada, evidências mineralógicas, térmicas e microestruturais da incorporação do TEOS diretamente em pastas, especialmente quando se busca isolar o efeito do teor de adição sob uma condição fixa de relação água/cimento.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar os efeitos da adição de silicato de etila em pastas de cimento, na formulação comercial TS28, adotando-se a relação água/cimento de 0,57 e variando-se o teor de adição, com base em difração de raios X (DRX), análise termogravimétrica (TG) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Buscando identificar tendências associadas à

evolução dos produtos de hidratação e a alterações microestruturais, contribuindo assim para o entendimento do mecanismo de atuação do TEOS em matrizes cimentícias.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Para a realização deste estudo, o silicato de etila TS28 foi incorporado a pastas de cimento com relação água/cimento de 0,57, em teores de 1%, 5% e 10% em relação à massa de cimento, além do traço de referência sem adição. A quantidade de TS28 foi calculada com base na massa de cimento e a água de amassamento foi ajustada de modo a manter a relação água/cimento nominal, considerando a fração líquida do silicato incorporado.

O ligante empregado foi cimento Portland CP V-ARI, de alta resistência inicial, escolhido por sua baixa adição mineral, o que favorece a interpretação dos efeitos atribuídos ao silicato de etila. Por sua vez, o TS28, associado ao ortossilicato de tetraetila, caracteriza-se por baixa viscosidade e ausência de pré-hidrólise, com composição típica reportada em ficha técnica do fornecedor. A Tabela 1 apresenta a composição química do cimento e a Tabela 2 mostra as propriedades físicas do TS28.

Tabela 1 - Composição química média do cimento CPV, em %

Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Perda ao fogo	CaO livre	Resíd. Insol.	Equiv. Alcal.
4,39	18,6	3,69	61,3	3,37	2,7	3,56	1,65	0,83	0,68

Fonte: Cimento Itambé, 2025.

Tabela 2 - Propriedades físicas do silicato de etila utilizado

Propriedade	TS28
Composição	Orto silicato de tetraetila
Densidade a 20°C (g/cm³)	0,93 a 0,94
Teor mínimo de SiO_2 (%)	28
Viscosidade a 25°C (cP, aprox.)	1
Índice de refração a 25°C	1,381 a 1,383
Estado de hidrólise	Não hidrolisado
Proporção de sólidos[1]	10,91%

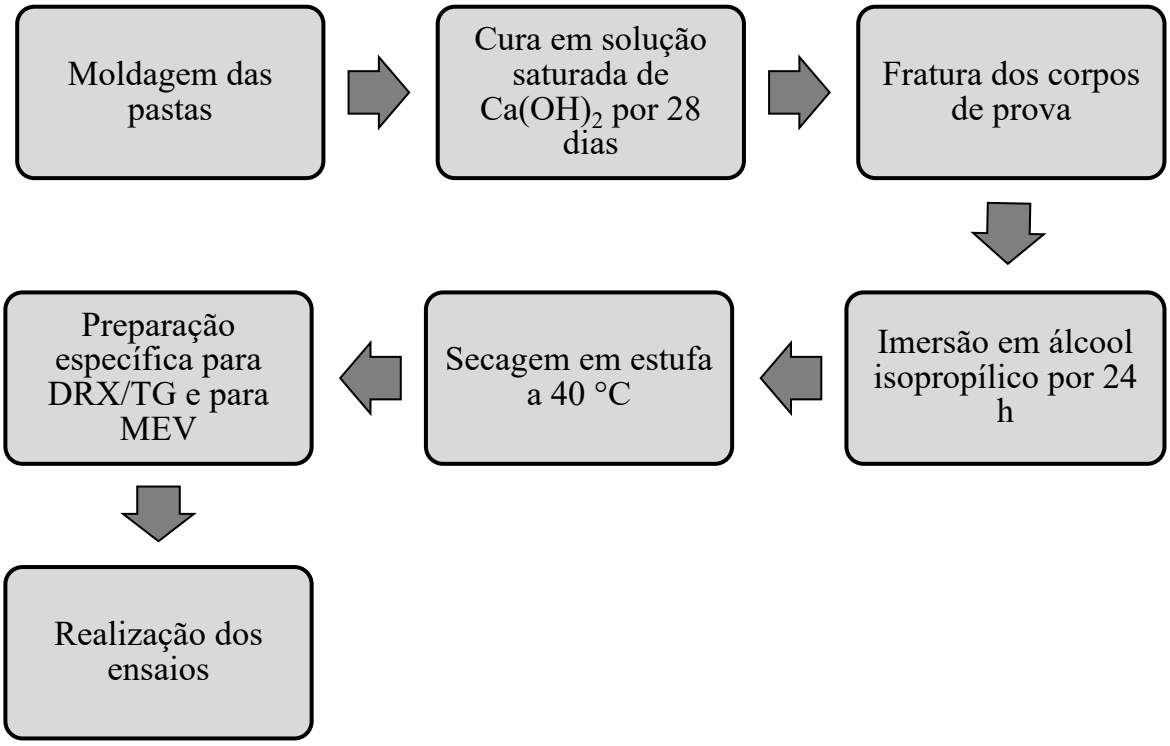
Fonte: Hergrand do Brasil Ltda, *[S.d.]* e autores[1].

As pastas foram moldadas em corpos de prova cilíndricos de 2 cm de diâmetro por 4 cm de altura. Após a desmoldagem, os corpos de prova foram curados por imersão em solução saturada de hidróxido de cálcio até as idades de ensaio, com o objetivo de padronizar o meio de cura e reduzir a lixiviação de compostos solúveis, como orienta a NBR 5738:2015.

2.2 Métodos

A Figura 1 apresenta, de forma esquemática, as principais etapas de preparo das amostras e de realização dos ensaios empregados na caracterização microestrutural das pastas.

Figura 1 - Fluxograma simplificado do procedimento experimental de preparo das amostras e realização dos ensaios microestruturais



Para a análise microestrutural das pastas, foi realizada a interrupção do processo de hidratação após 28 dias de cura. Inicialmente, os corpos de prova foram fraturados e os fragmentos obtidos foram imediatamente imersos em álcool isopropílico por 24 h, com o objetivo de cessar a hidratação. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 40 °C e armazenadas em recipientes hermeticamente fechados, de modo a evitar reidratação até a realização dos ensaios DRX, TG e MEV. Para DRX e TG, as amostras foram moídas e o material pulverulento foi peneirado em malha 200.

A DRX foi empregada para identificar as fases cristalinas presentes nas amostras moídas dos quatro traços avaliados, correspondentes ao traço de referência e às pastas com 1%, 5% e 10% de adição de TS28. As análises foram realizadas em difratômetro de raios X, com geometria de reflexão em modo pó, no intervalo de 2θ de 5° a 90°, com passo de 0,02°, sob varredura contínua.

A TG foi utilizada para avaliar a variação de massa das amostras em função da temperatura, permitindo identificar eventos associados à perda de água, à desidroxilação de produtos hidratados e à decomposição de carbonatos. O ensaio foi conduzido sob aquecimento controlado até 750 °C, em atmosfera de argônio, com registro contínuo da massa, possibilitando a interpretação das curvas TG/DTG.

Por fim, as análises de MEV foram realizadas em microscópio Tescan Mira 3 FEG SEM, equipado com detectores de elétrons secundários e retroespalhados. Para obtenção de imagens com adequada

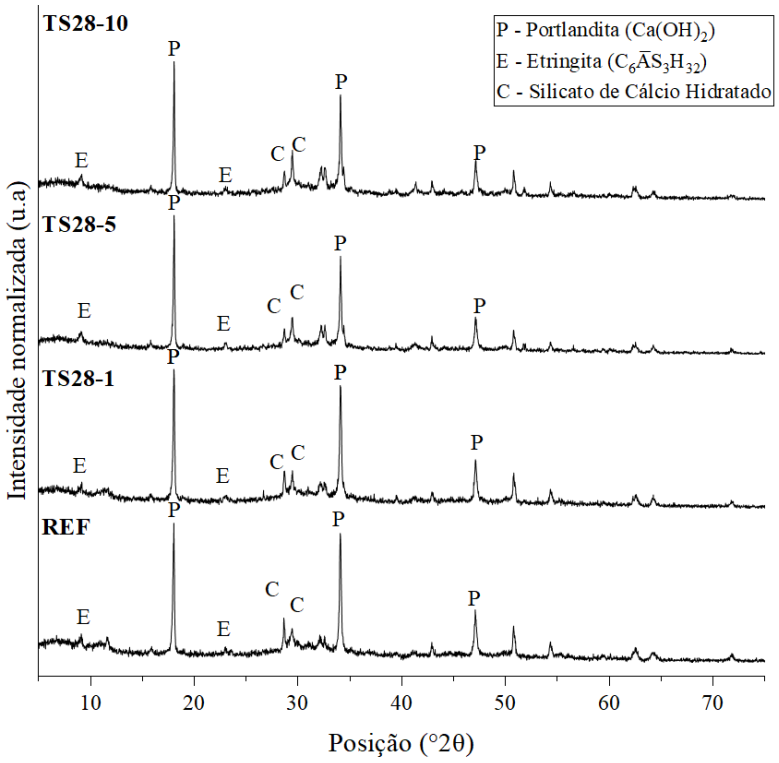
qualidade, as amostras foram secas e recobertas com fina camada de ouro, visando reduzir efeitos de carregamento e melhorar a condutividade elétrica superficial.

3. RESULTADOS

3.1 Difratometria de raios X

A Figura 2 apresenta os difratogramas das pastas aos 28 dias para o traço de referência e para as composições com adição de TS28. De modo geral, não se observou o surgimento de novas fases cristalinas associadas à incorporação do silicato de etila. Em todas as amostras foram identificadas reflexões atribuídas à portlandita e à etringita, além de sinais compatíveis com produtos silicatados hidratados, usualmente de baixa cristalinidade. As diferenças entre os traços manifestaram-se predominantemente como variações discretas de intensidade relativa dos picos, o que deve ser interpretado de forma qualitativa, uma vez que a intensidade foi normalizada e a difração de raios X apresenta sensibilidade limitada para fases amorfas, como a sílica formada por hidrólise e condensação do TEOS.

Figura 2 - DRX das pastas, em unidades arbitrárias



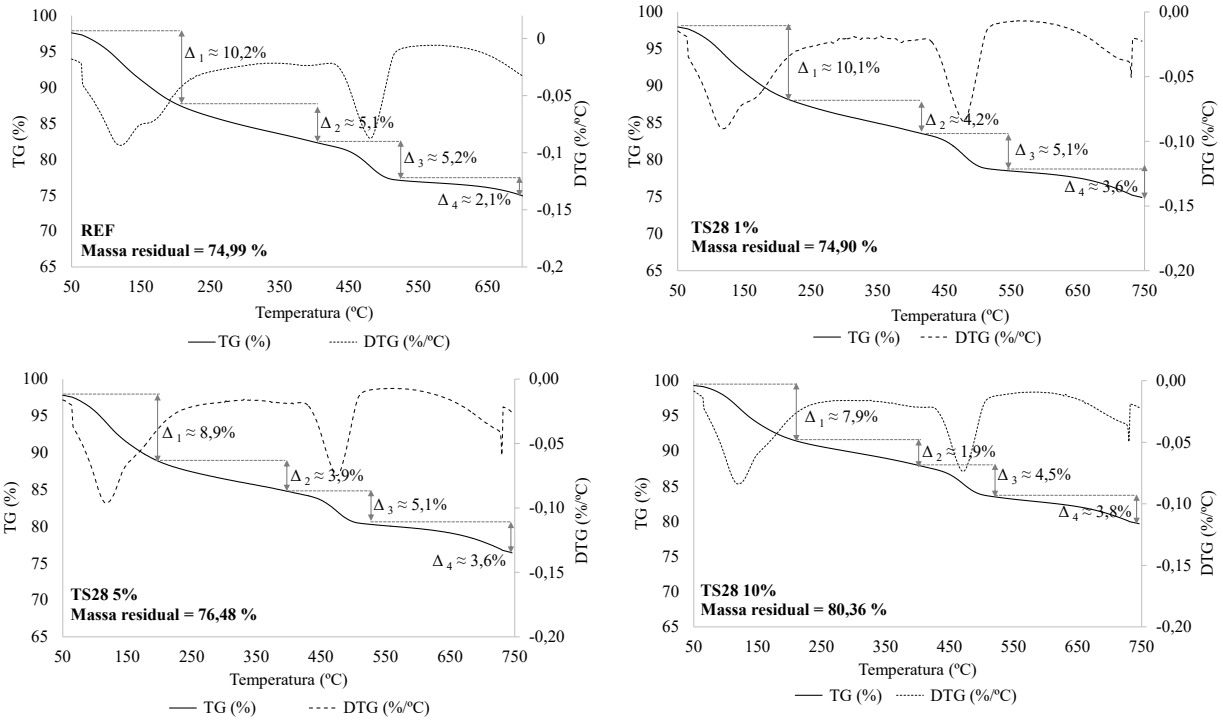
A ausência de novas fases cristalinas identificáveis por DRX, associada apenas a variações discretas na intensidade relativa das reflexões de portlandita, está em consonância com estudos que indicam que a incorporação de TEOS tende a modificar predominantemente a fração amorfa ou de baixa cristalinidade do sistema, sem induzir o surgimento de novas fases cristalinas detectáveis por difração de raios X, ao mesmo tempo em que pode promover consumo parcial de portlandita e reorganização local dos produtos de hidratação (Barberena-Fernández et al., 2015; Husillos-Rodríguez et al., 2022; Sandrolini et al., 2012).

Observa-se, nas composições com maior teor de TS28, tendência a leve redução da intensidade relativa das reflexões de portlandita, concomitante a discreta alteração do sinal na região associada a produtos silicatados hidratados. Esse comportamento sugere possível consumo parcial de $Ca(OH)_2$ e reorganização dos produtos de hidratação, hipótese coerente com a literatura que reporta a formação de gel silicatado e produtos do tipo C-S-H a partir da interação entre espécies silicatadas e portlandita, contribuindo para modificações locais da matriz hidratada (Barberena-Fernández et al., 2015; Sandrolini et al., 2012). Ainda assim, tais evidências devem ser interpretadas com cautela, uma vez que o DRX, isoladamente, não permite identificar diretamente a fração amorfa do sistema nem quantificar com precisão fases pouco cristalinas.

3.2 Termogravimetria

A Figura 3 apresenta as curvas TG/DTG das pastas aos 28 dias para o traço de referência e para as composições com 1%, 5% e 10% de TS28, na relação água/cimento de 0,57.

Figura 3 - Curvas TG e DTG das pastas aos 28 dias



Observam-se quatro faixas principais de perda de massa, associadas à evaporação de água e à decomposição de produtos hidratados. Em baixas temperaturas, aproximadamente entre 50 e 200 °C, ocorre a principal perda de massa (Δ_1), relacionada à eliminação de água fisicamente adsorvida e à desidratação inicial de produtos hidratados. Para todas as composições, esse patamar permanece elevado, com valores próximos a 7,9-10,2%, indicando contribuição expressiva de água livre e água fracamente ligada.

Na faixa intermediária, aproximadamente entre 200 e 450 °C, verifica-se perda adicional (Δ_2), usualmente atribuída à desidratação progressiva de hidratos, incluindo C-S-H e fases aluminato-sulfatadas. Nota-se que Δ_2 tende a diminuir com o aumento do teor de TS28, passando de cerca de 5,1% no traço de referência para 1,9% na composição com 10% de TS28, sugerindo redução

relativa de eventos associados a hidratos nessa região, ou redistribuição de água combinada para outras faixas de decomposição.

O evento mais característico ocorre entre aproximadamente 450 e 520 °C (Δ_3), associado à desidroxilação da portlandita. Para o traço de referência e para as composições com 1% e 5% de TS28, Δ_3 permanece em torno de 5,1%, enquanto para 10% de TS28 observa-se redução para aproximadamente 4,5%. Essa tendência indica diminuição relativa da fração de portlandita em teores elevados de TS28, em concordância com a interpretação dos difratogramas. Esse comportamento é coerente com estudos que atribuem ao TEOS a possibilidade de consumir parcialmente a portlandita por meio da reação de seus produtos de hidrólise com $Ca(OH)_2$, favorecendo a formação de produtos silicatados adicionais e alterando a distribuição dos eventos térmicos associados aos hidratos do sistema cimentício (Barberena-Fernández et al., 2015; Sandrolini et al., 2012; Husillos-Rodríguez et al., 2022).

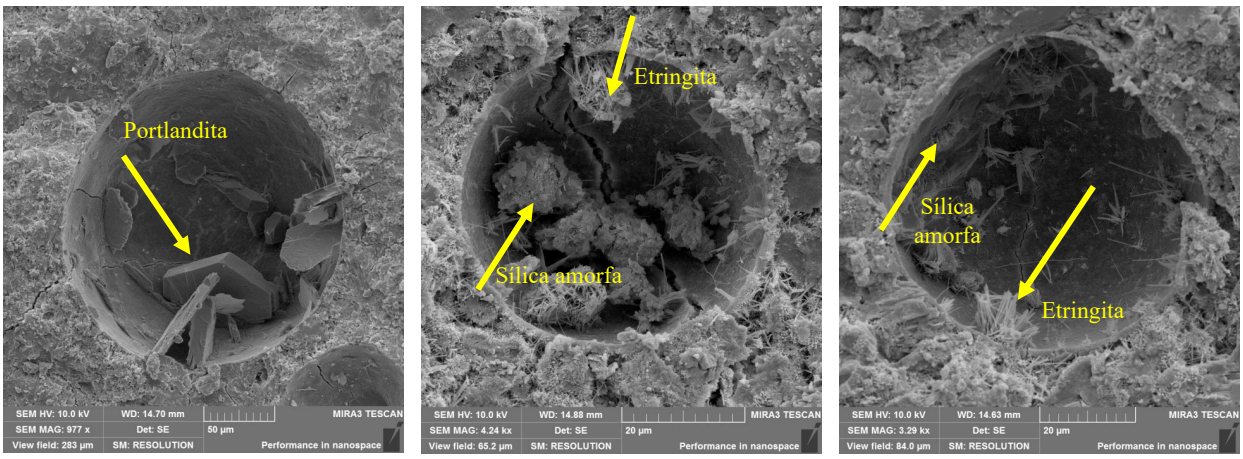
Em temperaturas elevadas, acima de aproximadamente 600 °C (Δ_4), observa-se a perda associada predominantemente à decomposição de carbonatos. Nesta faixa, o traço de referência apresenta Δ_4 de cerca de 2,1%, enquanto as pastas com TS28 exibem valores mais elevados, entre aproximadamente 3,6% e 3,8%. Esse comportamento sugere maior contribuição relativa de carbonatos nas amostras com adição de TS28. A interpretação desse resultado deve, contudo, ser realizada com cautela, uma vez que a contribuição de carbonatos pode ser influenciada não apenas pela evolução do sistema hidratado, mas também pelas condições de secagem, moagem, armazenamento e exposição das amostras ao CO_2 durante o preparo para os ensaios.

A massa residual aos 750 °C aumenta progressivamente com o teor de TS28, passando de cerca de 74,99% no traço de referência para 80,36% em 10% de TS28. Esse aumento é compatível com maior fração de resíduos inorgânicos e com a contribuição de fases de natureza predominantemente não volátil, incluindo sílica amorfa e produtos silicatados hidratados de baixa cristalinidade, cuja identificação não é direta por DRX. Em conjunto, os resultados de TG/DTG indicam que a adição de TS28, em teores mais elevados, tende a reduzir a contribuição relativa de portlandita e a alterar a distribuição das perdas de massa ao longo das faixas de temperatura, com aumento do resíduo final e intensificação relativa do evento em altas temperaturas.

3.3 Microscopia eletrônica de varredura

A Figura 4 apresenta as MEV das pastas aos 28 dias. De modo geral, observa-se uma matriz heterogênea, com presença de vazios e regiões de menor compactação, além de feições morfológicas compatíveis com produtos de hidratação e precipitados localizados. Em particular, identificam-se cristais lamelares associados à portlandita e estruturas aciculares atribuídas à etringita, bem como regiões com aspecto de gel, compatíveis com produtos silicatados de baixa cristalinidade. Nas composições com TS28, nota-se a ocorrência de material de aparência amorfa em zonas específicas, o que é consistente com a formação de sílica predominantemente amorfa por hidrólise e condensação do silicato de etila e com sua possível interação com a matriz hidratada.

Figura 4 - Microscopias eletrônica de varredura das pastas



Essa interpretação é compatível com estudos que relatam, em sistemas contendo TEOS, modificações localizadas na morfologia do gel e na organização da microestrutura, com formação de regiões silicatadas de baixa cristalinidade e alteração da densificação típica da matriz hidratada, observáveis por técnicas complementares como MEV e EDS (Barberena-Fernández et al., 2015; Husillos-Rodríguez et al., 2022; Yang et al., 2024). No entanto, como essas evidências são espacialmente localizadas, sua extrapolação para o comportamento global do material deve ser feita com cautela.

A interpretação das micrografias deve ser conduzida de forma integrada aos resultados de DRX e TG/DTG. As variações discretas na intensidade relativa das reflexões de portlandita observadas no DRX, assim como a tendência de redução do evento associado à desidroxilação de $Ca(OH)_2$ em teores mais elevados de TS28 na TG/DTG, são compatíveis com a menor evidência de cristais bem desenvolvidos de portlandita em algumas regiões analisadas por MEV. Adicionalmente, a presença pontual de etringita observada nas micrografias encontra correspondência com os difratogramas, que indicam a ocorrência dessa fase, ainda que sem alterações marcantes entre os traços.

Por fim, ressalta-se que o MEV fornece evidências essencialmente qualitativas e localizadas, de modo que inferências globais sobre porosidade e desempenho devem ser feitas com cautela e preferencialmente ancoradas em ensaios específicos. Ainda assim, as micrografias reforçam a conclusão de que a adição de TS28 pode modificar a morfologia e a distribuição de produtos de hidratação, com indícios de formação de fases de baixa cristalinidade e reorganização microestrutural dependente do teor de adição.

4. CONCLUSÕES

Considerando o objetivo de avaliar os efeitos da adição de silicato de etila, na formulação TS28, sobre pastas de cimento com relação água/cimento de 0,57, por meio de difração de raios X, análise termogravimétrica e microscopia eletrônica de varredura, conclui-se que a incorporação do produto modifica a evolução químico-mineralógica e microestrutural do sistema de forma dependente do teor de adição.

No que se refere à difração de raios X, não se observou o surgimento de novas fases cristalinas identificáveis, mantendo-se a presença das fases hidratadas usuais, com variações discretas na intensidade relativa das reflexões atribuídas à portlandita, especialmente nos teores mais elevados. Esse comportamento sugere que a atuação do TS28 ocorre predominantemente sobre a fração

amorfa ou de baixa cristalinidade da matriz, e não pela formação de novas fases cristalinas detectáveis por DRX.

As análises de TG/DTG indicaram resposta dependente do teor de adição, com redução do evento associado à desidroxilação de $Ca(OH)_2$ no teor de 10%, aumento progressivo da massa residual a 750 °C e maior contribuição relativa do evento em altas temperaturas. Em conjunto, esses resultados apontam para alterações na distribuição dos produtos de hidratação e possível consumo parcial de portlandita em teores mais elevados de TS28, embora essa interpretação deva ser conduzida com cautela, em razão da complexidade do sistema e das limitações inerentes às técnicas empregadas.

As micrografias evidenciaram matriz heterogênea, com precipitados localizados e regiões de aspecto amorfo, compatíveis com produtos silicatados de baixa cristalinidade e com reorganização microestrutural induzida pela adição de TS28. Como se trata de evidência qualitativa e localizada, sua leitura deve ser feita de forma integrada aos resultados de DRX e TG/DTG.

Dessa forma, conclui-se que o objetivo proposto foi atendido, uma vez que os resultados permitiram identificar tendências associadas à evolução dos produtos de hidratação e às alterações microestruturais promovidas pelo TS28 em pastas de cimento. Assim, os achados obtidos contribuem para o entendimento do mecanismo de atuação do TEOS em matrizes cimentícias, constituindo base para estudos futuros que correlacionem essas evidências microestruturais com propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), em especial ao Programa Voluntário de Iniciação Científica (PROVIC), e ao Complexo de Laboratórios Multiusuários (CLABMU), pela infraestrutura e suporte técnico. A CAPES é reconhecida pelo apoio à pesquisa. As empresas Itambé e Datiquim são agradecidas pelo fornecimento de materiais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto, Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BARBERENA-FERNÁNDEZ, A. M.; CARMONA-QUIROGA, P. M.; BLANCO-VARELA, M. T. **Interaction of TEOS with cementitious materials: Chemical and physical effects.** Cement and Concrete Composites, v. 55, p. 145–152, 2015. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2014.09.010.

CAHYANDARU, N. A**pplication of TEOS Modular System on the Preservation of Andesite Type Rock**. Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur, v. 15, n. 1, p. 15–25, 2021. DOI: 10.33374/jurnalkonservasicagarbudaya.v15i1.256.

CAI, Y. *et al*. **The use of tetraethyl orthosilicate silane (TEOS) for surface-treatment of hardened cement-based materials: A comparison study with normal treatment agents.** Construction and Building Materials, v. 117, p. 144–151, 2016. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.028.

CIMENTO ITAMBÉ. **Relatórios de ensaio, Cimento CP V-ARI**. Curitiba: Cimento Itambé, 2025. Disponível em: (site do fabricante). Acesso em: 2025.

FRANZONI, E.; PIGINO, B.; PISTOLESI, C. **Ethyl silicate for surface protection of concrete: Performance in comparison with other inorganic surface treatments.** Cement and Concrete Composites, v. 44, p. 69–76, 2013. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2013.05.008.

HAOXIANG, W.; YONGGEN, W.; TIANLUN, L.; MO, L. **Reduction of water absorption of concrete by surface treatment with ethyl silicate.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 638, n. 1, 012116, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/638/1/012116.

HE, J. *et al*. **Ethyl silicate–nanolime treatment for the consolidation of calcareous building materials**. Construction and Building Materials, v. 418, 135437, 2024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135437.

HERGRAND DO BRASIL LTDA. Ficha técnica do silicato de etila TS28. [S.l.]: Hergrand do Brasil Ltda, [s.d.].

HUSILLOS-RODRÍGUEZ, N. *et al*. **Effect of alkoxysilane on early age hydration in portland cement pastes.** Journal of Building Engineering, v. 50, 104127, 2022. DOI: 10.1016/j.jobe.2022.104127.

KAPETANAKI, K. *et al*. **TEOS Modified With Nano-Calcium Oxalate and PDMS to Protect Concrete Based Cultural Heritage Buildings.** Frontiers in Materials, v. 7, 2020. DOI: 10.3389/fmats.2020.00016.

KOOHESTANI, B.; BELEM, T.; KOUBAA, A.; BUSSIÈRE, B. **Experimental investigation into the compressive strength development of cemented paste backfill containing Nano-silica.** Cement and Concrete Composites, v. 72, p. 180–189, 2016. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2016.06.016.

LANGARO, E. A. **Estudo de diagnóstico e inibição da reação álcali-sílica utilizando cinza volante e proteção de superfície com silicatos.** 2023. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023. Disponível em: (repositório UFPR). Acesso em: 2026.

PIGINO, B.; LEEMANN, A.; FRANZONI, E.; LURA, P. **Ethyl silicate for surface treatment of concrete – Part II: Characteristics and performance.** Cement and Concrete Composites, v. 34, n. 3, p. 313–321, 2012. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2011.11.021.

SANDROLINI, F.; FRANZONI, E.; PIGINO, B. **Ethyl silicate for surface treatment of concrete – Part I: Pozzolanic effect of ethyl silicate**. Cement and Concrete Composites, v. 34, n. 3, p. 306–312, 2012. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2011.12.003.

WATANABE, N. *et al*. **Formation of amorphous silica nanoparticles and its impact on permeability of fractured granite in superhot geothermal environments.** Scientific Reports, v. 11, 5340, 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-84744-2.

XU, F.; ZENG, W.; LI, D. **Recent advance in alkoxysilane-based consolidants for stone.** Progress in Organic Coatings, v. 127, p. 45–54, 2019. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2018.11.003.

YANG, J.; ZUO, W.; WU, Z.; SHE, W. **Towards a deeper understanding of the impact of tetraethoxysilane (TEOS) on early-age cement hydration.** Construction and Building Materials, 2024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.138624.

ZHAO, J. *et al*. **TEOS/PDMS-OH hybrid material for the consolidation of damaged pottery.** Heritage Science, v. 1, n. 1, p. 1–10, 2013. DOI: 10.1186/2050-7445-1-12.

CAPÍTULO 25 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/1n1gmb85
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/vvs1jf62

ANÁLISE MECÂNICA E FÍSICA DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO À INCORPORAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU

Maria Eduarda Velez Martins[1]*; Emmanuely Regina Araújo Diniz[2]; Luanna Amado da Silva[3]; Diego José Araújo Viegas[4]; Luana Dantas Medeiros[5]; Valter Ferreira de Souza Neto[6]; Chrysttyan Thales Ribeiro Félix[7]; Fabiana Xavier Costa[8];Ana Maria Gonçalves Duarte[9]
*Autor de contato: duda.velez@hotmail.com

[1] Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[2] Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[3] Doutoranda em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[4]Doutorando em Engenharia Civil, Unversidade de Pernambuco, Recife-PE, Brasil
[5]Doutoranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[6]Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[7]Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[8] Doutorado em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil
[9] Doutorado em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil

RESUMO

A urgência em adotar práticas sustentáveis para reduzir a exploração de recursos naturais tem impulsionado pesquisas na engenharia civil, setor caracterizado pela alta geração de resíduos. Nesse contexto, a adição de borracha de pneus inservíveis na produção de concreto se destaca como uma alternativa para promover a destinação final ambientalmente adequada desse resíduo e reduzir o consumo de agregados naturais finitos. A pesquisa em questão avalia a viabilidade dessa implementação, a partir da análise do comportamento mecânico do concreto ao substituir parcialmente os agregados pelo resíduo da borracha de pneu. Os resultados obtidos na presente pesquisa mostraram que a adição do RBP reduziu, significativamente, a massa específica aparente e as propriedades mecânicas. Ademais, observou-se que o material não é viável para uso estrutural devido seu baixo valor de resistência.
Palavras-chave: Borracha de Pneu; Concreto; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The urgent need for sustainable practices to mitigate the exploitation of natural resources has propelled research within the civil engineering sector, which is known for its high waste output. Within this framework, incorporating waste tire rubber into concrete production emerges as a prominent alternative for ensuring environmentally sound disposal and decreasing the reliance on finite natural aggregates. This study assesses the feasibility of such an application through a

mechanical performance analysis of concrete with partial aggregate replacement by crumb rubber. The experimental results indicated that the inclusion of RBP led to a significant reduction in both bulk density and mechanical properties. Moreover, the findings suggest that the material is unsuitable for structural applications due to its diminished compressive strength.
Keywords: Tire rubber; Concrete; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o transporte rodoviário desempenha papel central na economia, sendo responsável por cerca de 65% da movimentação de mercadorias e de 95% da de passageiros (CNT, 2021). Essa dependência estrutural implica em uma elevada frota circulante e, consequentemente, intensa demanda por pneumáticos, tendo uma produção nacional de 40 a 50 milhões e um descarte de 100 milhões por ano. Entretanto, cerca de 1 em cada 10 pneus inservíveis não recebem destinação ambientalmente adequada, o que significa que aproximadamente 10% desses materiais não estão sendo devidamente descartados (GOV, 2025).

Paralelamente, de acordo com o IEA (International Energy Agency), o concreto é o material de construção mais consumido no planeta, onde a produção global do cimento está situada em torno de 4 bilhões de toneladas anualmente. De acordo com o SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento) o Brasil está entre os 10 maiores produtores mundiais, e em 2022 a produção de cimento foi de 63,5 milhões de toneladas.

Diante desse cenário, urge a necessidade da implementação de medidas sustentáveis, como é exposto por Silveira (2016), após a Conferência Nacional das Nações Unidas sobre o desenvolvimento sustentável realizada no Rio de Janeiro em 1992, onde as pesquisas científicas devem focar na otimização dos modos de produção gerando uma redução dos resíduos e, consequentemente, assegurando a preservação ambiental.

Com isso em mente, é fundamental que haja o desenvolvimento de técnicas que consigam diminuir a quantidade de resíduos gerados atualmente. Algumas revisões mais recentes, como a de Moolchandani e Sharma (2025), mostram a possibilidade de produzir compósitos cimentícios com borracha de pneu, podendo esta substituir parcialmente os agregados naturais. Essa prática contribui significativamente para a sustentabilidade ambiental por dar uma destinação mais correta e útil a esse resíduo altamente poluente.

Nesse contexto, a presente pesquisa busca analisar as propriedades mecânicas do concreto simples quando adicionado resíduos de borracha de pneus, estudando a sua viabilidade de utilização, promovendo assim uma redução do descarte inadequado de pneus inservíveis e, consequentemente, menor exploração de recursos naturais virgens para a produção do concreto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

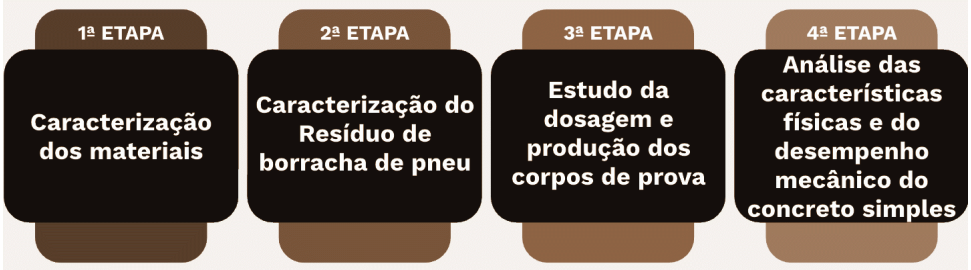
- Agregado graúdo: Brita 25mm e a brita 9,5mm (também identificada como casquilho);
- Agregado miúdo: Areia quartzosa;
- Cimento Portland CPII Z32;
- Resíduo de borracha de pneu inservível (RBP): Material obtido pela empresa LBFlex no município de Campina Grande - PB;

- Água: Fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA)

2.2. Metodologia

O fluxograma exposto na Figura 1 apresenta as etapas as quais a pesquisa desenvolveu-se.

Figura 1 - Fluxograma das etapas realizadas



Fonte: os autores

2.2.1. Caracterização dos materiais

A seguir serão apresentados na Tabela 1 os ensaios realizados para a caracterização física dos agregados, acompanhados de suas respectivas normativas técnicas.

Tabela 1 - Ensaios para a caracterização e referenciais normativos

Ensaio	Norma
Análise granulométrica	ABNT NBR 7217 (ABNT, 1987)
Massa específica	ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003) ABNT NBR NM 53 (ABNT, 2003) DNER - ME 085/1994
Determinação da massa unitária	ABNT NBR 7251 (ABNT, 1982)
Determinação do teor de materiais pulverulentos	ABNT NBR 7219 (ABNT, 1987)
Ensaio de Finura	ABNT NBR 11579 (ABNT, 2012)
Ensaio de absorção	ABNT NBR NM 53 (ABNT, 2003)

Fonte: os autores

2.2.2. Estudo da dosagem e produção dos corpos de prova

Realizada a fase de caracterização dos insumos, seguiu-se para a dosagem do concreto conforme a metodologia da ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. O traço de referência utilizado foi de 1:2:3,14:0,58 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: fator água cimento) em massa. Os corpos de prova foram realizados com dimensões de 10 x 20 cm e com substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de borracha em 10% e 20%, sendo o último o valor limite ideal para aplicações que ainda exigem certa responsabilidade mecânica (MOOLCHANDANI e SHARMA, 2025).

A Tabela 2 apresenta o delineamento experimental.

Tabela 2 - Programação dos experimentos

Teor de RBP(%)	Dosagens produzidas	Ensaios	CP ensaiados por idade de cura			
			7	14	21	28
0	1	Compressão	2	2	2	2
		Tração	2	2	2	2
10	1	Compressão	2	2	2	2
		Tração	2	2	2	2
20	1	Compressão	2	2	2	2
		Tração	2	2	2	2
Total	3	48				

Fonte: os autores

Por sua vez, a Tabela 3 contém as proporções dos materiais empregados na produção dos corpos de prova.

Tabela 3 - Proporção dos materiais nos corpos de provas

Materiais utilizados	CREF (Kg)	CRB10 (Kg)	CRBP20 (Kg)
Cimento	10,8	10,8	10,8
Resíduo de borracha de pneu	0	2,6	4,32
Agregado miúdo	21,6	19,44	17,28
Agregado graúdo	33,94	33,94	33,94
Brita 25	20,36	20,36	20,36
Brita 9,5	13,58	13,58	13,58

Fonte: os autores

A mistura foi preparada em betoneira, com foco em um abatimento de 40 a 60 mm e resistência característica de 20 MPa, valor este para testar se o concreto atingirá o patamar mínimo de segurança para projetos estruturais. A proporção de agregados foi definida conforme ABNT NBR 7810 (ABNT, 1983), resultando na combinação de 60% de brita 25mm e 40% de brita 9,5mm por apresentar a maior massa unitária compactada.

Na avaliação da trabalhabilidade (*slump test*), verificou-se que a incorporação de 10% e 20% de borracha reduziu o abatimento abaixo do critério estipulado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização física dos materiais

3.1.1. Agregado graúdo

A Tabela 4 contempla os resultados referentes à caracterização física do agregado graúdo.

Tabela 4 - Resultados referentes à caracterização física do material.

Ensaios	Valores obtidos	
	Brita 25	Brita 9,5
Massa específica aparente (ABNT NM 53:2003)	$\gamma a = 1{,}53 g/cm^3$	$\gamma a = 1{,}43 g/cm^3$
Massa específica real (ABNT NM 53:2003)	$\gamma = 2{,}69 g/cm^3$	$\gamma = 2{,}68 g/cm^3$
Absorção (ABNT NM 53:2003)	Abs = 0,3%	Abs = 0,5%

Fonte: os autores

Baseando-se nesses valores obtidos, é possível verificar que a massa específica determinada está em conformidade com os valores encontrados na literatura contemporânea, cuja variações são detalhadas por Mehta e Monteiro (2014). Além disso, a absorção observada mostrou-se compatível com materiais de origem granítica, mantendo-se dentro dos limites esperados (TUTIKIAN e HELENE, 2011). Em sequência, nas Tabelas 5 e 6 estão presentes as distribuições granulométricas das britas 9,5mm e 25mm, respectivamente.

Tabela 5 - Distribuição granulométrica da brita 9,5 mm

Peneiras	Material retido	Porcentagem em massa		Limite inf.	Limite sup.
		Retida	Acumulada		
9,5 mm	18,9 g	0,63 g	0,63 g	80 %	100 %
4,8 mm	2919,2 g	97,31 g	97,94 g	95 %	100 %
<4,8 mm (fundo)	61 g	2,03 g	99,97 g	-	-
Soma	2999,1 g	100,00 g	100,00 g	-	-
Módulo de finura			5,98		
Diâmetro máximo			9,5 mm		

Fonte: os autores

Tabela 6 - Distribuição granulométrica da brita 25 mm

Peneiras	Material retido	Porcentagem em massa		Limite inf.	Limite sup.
		Retida	Acumulada		
19,1 mm	377,06 g	7,54 g	7,54 g	80 %	100 %
9,5 mm	3702,6 g	74,05 g	81,59 g	95 %	100 %
4,8 mm	819,2 g	16,38 g	97,98 g	-	-

<4,8 mm (fundo)	101,2 g	2,02 g	100,00 g	-	-
Soma	5000 g	100,00 g	-	-	-
Módulo de finura			5,98		
Diâmetro máximo			9,5 mm		

Fonte: os autores

Com esses dados, percebe-se que os módulos de finura para os agregados de 9,5mm e 25mm foram, respectivamente, 5,98 e 6,87, com predominância de partículas retidas nas peneiras de 4,8 mm e 9,5 mm. Segundo a ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009), os agregados são classificados como cascalho 0, com dimensão máxima característica (DMC) de 9,5mm, e cascalho 2 com DMC de 25mm. As curvas granulométricas evidenciaram que a brita utilizada conseguiu atender os limites estabelecidos pela norma, sendo que a brita de menor dimensão apresentou mais de 95% do material retido na peneira de 4,8mm, permitindo sua classificação como cascalho 0.

3.1.2. Agregado miúdo

Em relação aos resultados encontrados referentes à composição granulométrica dos agregados miúdos, tais valores foram contemplados na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 - Composição granulométrica dos agregados miúdos

Peneiras	Material retido	Porcentagem em massa	
		Retida	Acumulada
2,4 mm	52,6 g	5,26%	5,26%
1,2 mm	79,4 g	7,94%	13,2%
0,6 mm	264,3 g	26,43%	39,63%
0,3 mm	408,3 g	40,83%	80,46%
0,15 mm	170,8 g	17,08%	97,54%
Fundo	24,4 g	2,46%	99,98%
Soma	999,80 g	100%	-
Módulo de finura		2,37	
Diâmetro máximo		2,36 mm	

Fonte: os autores

O valor de módulo de finura obtido, 2,37, encontra-se dentro da zona ótima de utilização, como é exposto na norma ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009). Com base nesse resultado, pode-se classificar esse material como areia de granulometria média, por se enquadrar na faixa $2,4 < MF < 3,2$.

Assim, é possível concluir que a areia analisada apresentou graduação adequada, favorecendo a sua integração em concretos. Essa composição granulométrica do agregado miúdo é fundamental por exercer influência direta sobre o índice de vazios, o fator água/cimento e o comportamento reológico da mistura.

A Tabela 8 aborda os resultados da caracterização física do agregado miúdo, seguido de suas respectivas normativas técnicas da ABNT.

Tabela 8 - Resultados da caracterização física

Ensaios	Norma	Resultados
Massa específica real	ABNT NBR NM 52:2003	2,59 g/cm^3
Massa unitária no estado solto	ABNT NBR 7251:1982	1,50 g/cm^3
Teor de materiais pulverulentos	ABNT NBR 7219:1987	0,07%

Fonte: os autores

3.1.3. Resíduo de borracha de pneu

Logo abaixo, a Tabela 9 dispõe os valores obtidos da composição granulométrica do resíduo de borracha de pneu.

Tabela 9 - Composição granulométrica do resíduo de borracha de pneu

Peneiras	Material retido	Porcentagem em massa	
		Retida	Acumulada
2,4 mm	156,99 g	15,70%	15,70%
1,2 mm	323,13 g	32,31%	48,01%
0,6 mm	342,55 g	34,26%	82,27%
0,3 mm	115,53 g	11,55%	93,82%
0,15 mm	54,36 g	5,44%	99,26%
Fundo	7,44 g	0,74%	100,00%
Soma	1000 g	100%	-
Módulo de finura		3,39	
Diâmetro máximo		2,36 mm	

Fonte: os autores

Analisando esses resultados, foi observado que 15% do material ficou retido na peneira ABNT de malha 2,4 mm, sendo essa fração classificada como borracha de granulometria mais grossa. O módulo de finura do resíduo enquadra-se no limite superior estabelecido para agregados finos naturais pela ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009), situando-se na faixa de 2,9 a 3,5. As diferenças

entre o módulo de finura do agregado miúdo natural e aquele parcialmente substituído devem-se às particularidades de distribuição granulométrica, forma e textura superficial do resíduo. Diante disso, optou-se por empregar o material integralmente, sem que houvesse uma segregação granulométrica adicional após o processo de moagem, de modo que conseguisse aproveitar ao máximo o resíduo.

A Tabela 10 a seguir apresenta os resultados da caracterização física do RBP (resíduo de borracha de pneu), regidos pelas normas da ABNT.

Tabela 10 - Caracterização física do RBP

Ensaios	Norma	Resultado
Massa específica real	ABNT NBR NM 52:2003	0,67 g/cm^3
Absorção	ABNT NBR NM 53:2003	52%

Fonte: os autores

Conforme visto na Tabela 10 acima, a absorção da borracha mostrou-se significativamente superior àquela verificada para agregados naturais, indicando potencial influência no desempenho do concreto.

3.1.4. Cimento Portland

A Tabela 11 a seguir contempla os resultados obtidos a respeito da caracterização física do cimento.

Tabela 11 - Caracterização física do cimento

Ensaio	Norma	Resultado
Massa específica real	DNER ME 085:1994	2,91 g/cm^3
Finura	ABNT NBR 11579:2012	2,84%

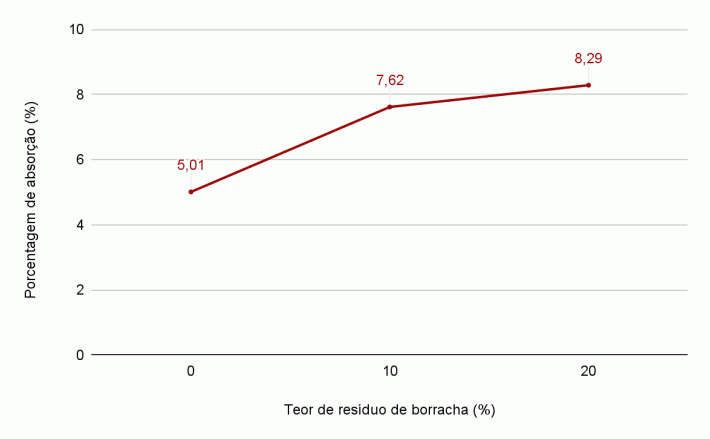
Fonte: os autores

Baseando-se na norma ABNT NBR 11578 (ABNT, 1991), o limite máximo para a finura do cimento é de 12%, evidenciando que o valor obtido permaneceu dentro dessa exigência. Já em relação a massa específica, os cimentos produzidos no Brasil apresentam valores compreendidos entre 2,90 e 3,20 g/cm^3, intervalo no qual se enquadra o resultado obtido nesta pesquisa.

3.1.5. Concreto

A avaliação do desempenho do concreto foi feita a partir dos ensaios de absorção, de resistência à compressão simples e resistência à tração por compressão diametral. A realização do ensaio de absorção de água foi dada pela norma ABNT NBR 9778 (ABNT, 2005). Tal ensaio permite estimar a porosidade do material, parâmetro diretamente associado à durabilidade e à resistência frente a agentes agressivos. Os resultados obtidos aos 28 dias estão apresentados na Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Gráfico da absorção de água do concreto a 28 dias



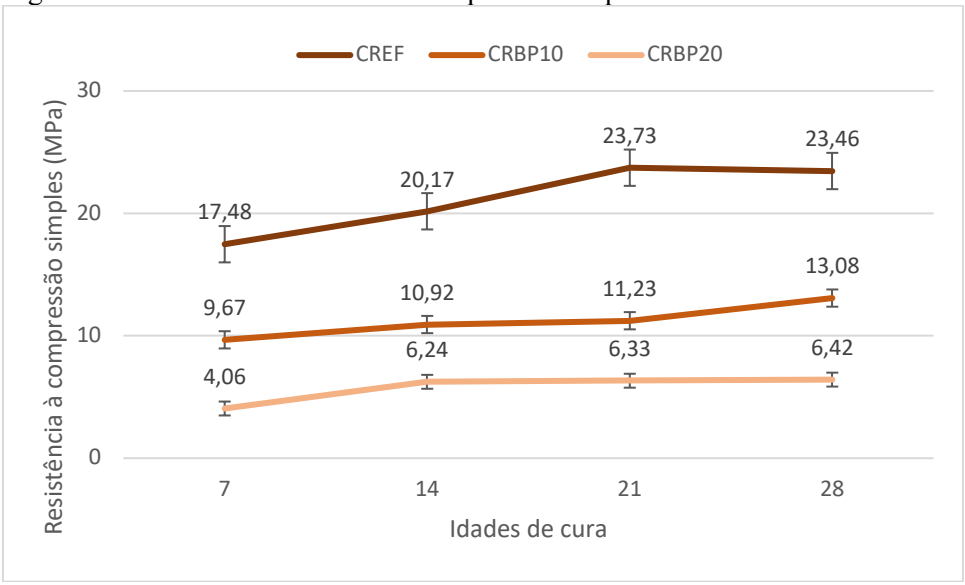
Fonte: os autores

A análise gráfica indica que o aumento do teor de resíduos de borracha eleva a absorção de água, devido à fraca aderência entre o resíduo e a matriz cimentícia. Aos 28 dias, o concreto com 10% de RBP apresentou incremento de 50% na absorção, enquanto o teor de 20% resultou em um aumento de 65% frente à referência. Esse fenômeno compromete a aderência na ZTI (Zona de Transição Interfacial), gerando microvazios entre a borracha e a matriz cimentícia, facilitando a penetração de líquidos (MOOLCHANDANI e SHARMA, 2025).

Resultados semelhantes foram observados na pesquisa de Selung *et al.* (2013), o qual obteve, para os teores de 15%, 25% e 35% valores médios de absorção de água de, respectivamente, 4,7%, 6,1% e 6,4%, convergindo com os resultados encontrados no presente estudo.

Para avaliar o comportamento mecânico, realizou-se o ensaio de resistência à compressão simples conforme a ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018). A Figura 3 apresenta os valores comparativos entre o concreto de referência e as misturas CRBP10 e CRBP20.

Figura 3 - Resultados do ensaio de compressão simples com CRBP10 e CRBP20



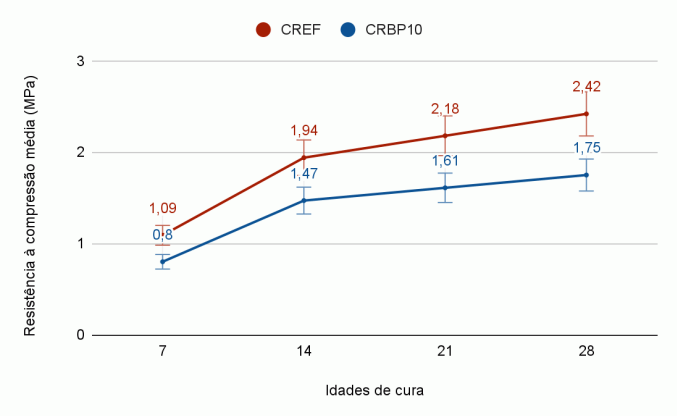
Fonte: os autores

A partir da análise desses resultados, foi possível observar que a substituição de 10% do agregado miúdo por RBP gerou uma redução da resistência à compressão simples em todas as idades que foram estudadas atingindo, aos 28 dias, uma diminuição de 44,2%. Já para o teor de 20%, as perdas foram mais significativas, correspondendo a 76,8%, 69%, 73,3% e 72,6%, para 7 dias de cura, 14 dias de cura, 21 dias de cura e 28 dias de cura, respectivamente.

A análise da dosagem foi realizada considerando o fck = 20 MPa para o concreto aos 28 dias, onde foi possível constatar que apenas a mistura de concreto de referência atendeu ao valor estipulado. Enquanto as misturas CRBP10 apresentaram reduções de 44,7% (7 dias de cura) 45,8% (14 dias), 52,7% (21 dias) e 44,2% (28 dias), não atendendo aos requisitos mínimos estabelecidos na norma ABNT NBR 6118 (ABNT, 2003).

A Figura 4 representa, em formato de gráfico, os resultados encontrados para a resistência à tração por compressão diametral da mistura de referência e a mistura CRBP10.

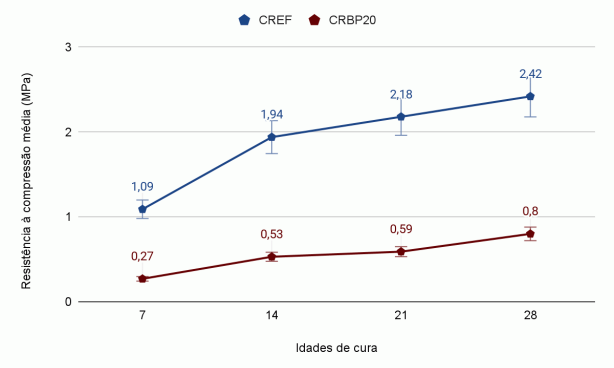
Figura 4 - Resistência à tração por compressão diametral média com CRBP10



Fonte: os autores

Com base nesses resultados é possível concluir que a resistência à tração por compressão diametral também foi afetada pela incorporação do resíduo, com reduções de 26,6% (7 dias de cura), 24,2% (14 dias), 26,1% (21 dias) e 27,7% (28 dias) para o teor de 10% de resíduo de borracha de pneu, e para o teor de 20% os valores foram 75,2%, 72,6%, 72,9% e 66,9%, respectivamente. A Figura 5 mostra os valores referentes à resistência à tração por compressão diametral da mistura de concreto de referência e da mistura CRBP20 (concreto incorporado com 20% de resíduo de borracha de pneu).

Figura 5 - resistência à tração por compressão diametral com amostra de 20% de resíduo



Fonte: os autores

De maneira geral, observou-se que o aumento da quantidade de resíduo de borracha integrado à mistura CRBP20 resultou em perdas substanciais de resistência, sendo aproximadamente três vezes superior às que foram observadas nas misturas CRBP10, o que evidencia a demasiada influência que o resíduo exerce no desempenho mecânico do concreto.

Segundo Moolchandani e Sharma (2025), essa perda de resistência não ocorre de maneira linear devido ao efeito de aglomeração das partículas de borracha, quanto maior o teor desse resíduo, mais alta é a probabilidade dessas partículas se tocarem dentro do concreto, criando planos de fraqueza contínuos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando-se nos ensaios realizados, foi possível concluir que a incorporação do RBP reduziu a massa específica aparente do concreto em até 30% para o teor de 20%. No entanto, a adição de borracha promoveu uma redução significativa nas propriedades mecânicas, com perdas de 44,2% na resistência à compressão e 27,7% na tração para o teor de 10%. Devido à resistência à compressão inferior a 20 MPa, o material mostrou-se não viável para uso estrutural, conforme a ABNT NBR 6118.

Apesar da redução de resistência, a pesquisa demonstrou a viabilidade técnica e sustentável da utilização do CRBP para aplicações não estruturais, como o uso em meio fios, ciclovias, blocos de vedação e calçadas. Isso proporciona um destino mais adequado para os pneus inservíveis, consequentemente, reduzindo o volume de resíduos em aterros e a exploração de agregados naturais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pelo suporte institucional e pela infraestrutura acadêmica que possibilitaram a realização desta pesquisa. Além disso, agradecemos, também, ao apoio fornecido pelo CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
Estendemos os agradecimentos a empresa LBFlex pela disponibilização do resíduo de borracha para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7217: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7219: **Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos**, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7251: **Agregado em estado solto - Determinação da Massa Unitária**, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 11579 Mb 3432 :**Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 248: **Determinação da Composição Granulométrica**, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7810: **Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária**, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7211: **Agregado para concreto: Especificação**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto: Procedimento**, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 11578: **Cimento Portland composto**, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos**, 2018.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. **Pneus inservíveis**. Brasília, [n.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/residuos/pneus-inserviveis.

BAUER, Elton. **Avaliação comparativa da influência da adição de escória de alto-forno na corrosão das armaduras através de técnicas eletroquímicas.** 1995. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.

MOOLCHANDANI, K.; SHARMA, A. State-of-the-art review on the influence of crumb rubber on the strength, durability, and morphological properties of concrete. **Science and Engineering of Composite Materials**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. e20240015, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1515/secm-2024-0015. Acesso em: 9 abr. 2026.

PINTO, Nayra Alberici; FIORITI, Cesar Fabiano. **Desempenho de argamassas de revestimento produzidas com borracha de pneus**. *Mix Sustentável*, [S.l.], v. 2, n. 4, p. 2016. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/246191.

SILVEIRA, P.M.; ALBUQUERQUE, M.C.F.; CASSOLA, S.; BORTOLUCCI, A.A.; PAULLI, L.D.; VILLA, F.M.D. **Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu. Revista Matéria**, v.21, n.2, pp. 416– 428, 2016.

CAPÍTULO 26 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/9xdqnw35
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/pzppb993

EFEITOS COMPARATIVOS DA INCORPORAÇÃO DE SILICATO DE ETILA EM PASTAS E ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND

Maria Vitoria Pedroso[1], Adriana Fiori Moura[1]*; Eloise Aparecida Langaro[1] e Eduardo Pereira[1]
*Autor de contato: a.fiorimoura@gmail.com

[1] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil

RESUMO

Silicatos de etila podem formar sílica amorfa por hidrólise e condensação, com potencial para modificar a reologia e o desempenho de matrizes cimentícias. Este trabalho avaliou a incorporação direta do silicato de etila TS40 em pastas e argamassas de cimento Portland, com relação água/cimento de 0,47, nos teores de 1%, 5% e 10% em massa de cimento. Foram determinados o índice de consistência e a resistência à compressão aos 7 e 28 dias. Para o índice de consistência, os resultados foram analisados de forma descritiva, com base em médias, desvios padrão e variações percentuais em relação ao traço de referência. Para a resistência à compressão, os valores brutos foram submetidos à análise de variância de um fator, seguida do teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Os resultados mostraram que os teores de 1% e 5% preservaram ou elevaram o espalhamento, enquanto a dosagem de 10% reduziu a fluidez, sobretudo nas argamassas. Em termos mecânicos, a resposta ao TS40 dependeu da matriz, da idade e do teor de adição. Nas pastas, observaram-se diferenças entre dosagens específicas, com destaque para o efeito deletério do teor de 10%. Nas argamassas, a incorporação de 10% prejudicou a resistência aos 7 dias, enquanto, aos 28 dias, embora 1% tenha apresentado a maior média, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas entre os teores. Em conjunto, os resultados indicam que dosagens moderadas de TS40, particularmente entre 1% e 5%, são mais favoráveis do ponto de vista operacional, ao passo que teores elevados tendem a comprometer a trabalhabilidade e o desempenho mecânico.
Palavras-chave: silicato de etila; TS40; pasta de cimento; argamassa.

ABSTRACT

Ethyl silicates may form amorphous silica through hydrolysis and condensation, with the potential to modify the rheology and performance of cementitious matrices. This study evaluated the direct incorporation of the ethyl silicate TS40 into Portland cement pastes and mortars at a water-to-cement ratio of 0.47, using addition levels of 1%, 5%, and 10% by cement mass. Consistency and compressive strength were determined at 7 and 28 days. Consistency results were analyzed descriptively based on means, standard deviations, and percentage variations relative to the reference mixture. Compressive strength data were analyzed by one-way analysis of variance, followed by Tukey's test at a 5% significance level. The results showed that the 1% and 5% levels preserved or increased spread, whereas the 10% dosage reduced flowability, especially in mortars. From a mechanical standpoint, the response to TS40 depended on the matrix, testing age, and dosage level. In pastes, statistically significant differences were observed between specific dosages, with the 10% level showing the most detrimental effect. In mortars, the 10% dosage impaired early-age strength, while at 28 days the 1% level showed the highest mean value, although no statistically significant differences were found among the dosages. Overall, the results indicate that moderate TS40 dosages, particularly between 1% and 5%, are operationally more favorable, whereas high dosages tend to impair workability and mechanical performance.
Keywords: ethyl silicate; TS40; cement paste; mortar.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho e a durabilidade de materiais cimentícios são diretamente influenciados pela estrutura porosa efetiva, em especial pela percolação e pela tortuosidade dos poros capilares, que controlam o transporte de água e de espécies iônicas. Sob a ótica da patologia das construções, variações relativamente pequenas na conectividade efetiva podem alterar de modo expressivo a cinética de mecanismos como carbonatação, ingresso de cloretos, lixiviação e reações expansivas, visto que tais processos respondem principalmente a propriedades de transporte e não apenas à porosidade total (Basheer; Kropp; Cleland, 2001; Bentz; Garboczi, 1991; Langaro, 2023; Martys, 1995; Papadakis; Vayenas; Fardis, 1991).

Os silicatos de etila, em particular o ortossilicato de tetraetila, vêm sendo explorados como precursores sol-gel capazes de produzir uma rede de sílica amorfa por hidrólise e policondensação, sobretudo na presença de umidade e em meio alcalino. Em matrizes cimentícias, essa rede pode se desenvolver em poros capilares e gargantas porosas, alterar a distribuição de tamanhos de poros e consumir hidróxido de cálcio, favorecendo a formação de C-S-H adicional e o refinamento local da microestrutura (Barberena-Fernández; Carmona-Quiroga; Blanco-Varela, 2015; Brinker; Scherer, 1990; Sandrolini; Franzoni; Pigino, 2012). Apesar desse potencial, grande parte da literatura concentra-se em tratamentos superficiais por impregnação e em indicadores de durabilidade, havendo menor convergência sobre o comportamento reológico e mecânico quando o produto é incorporado diretamente à mistura (Barberena-Fernández; Carmona-Quiroga; Blanco-Varela, 2015; Cai et al., 2016; Sandrolini; Franzoni; Pigino, 2012).

Entre as formulações comerciais, o TS28 e o TS40, por exemplo, apresentam diferenças relevantes. O TS28 corresponde, em termos gerais, ao ortossilicato de tetraetila, de baixa viscosidade e não hidrolisado, ao passo que o TS40 é obtido a partir de hidrólise parcial e purificação do TS28, apresentando maior teor de SiO_2 e caráter parcialmente pré-hidrolisado. Essa distinção é crítica do ponto de vista de dosagem, pois a hidrólise compete com a água disponível para a hidratação do cimento, em especial em relações água/cimento menores, o que pode afetar simultaneamente reologia, adensamento e evolução da resistência (Evonik Operations GmbH, 2025; Wacker Chemie AG, 2022, 2024).

No âmbito de estudos prévios, a incorporação do TS28 em pastas e argamassas de cimento Portland já foi investigada, com evidências de alterações no estado fresco, no desempenho mecânico e em aspectos microestruturais, quando comparado ao traço de referência, conforme reportado por Moura et al. (2025). Neste contexto, o presente trabalho amplia a discussão ao introduzir o TS40 no mesmo delineamento experimental, permitindo avaliar, de forma comparativa, o papel do tipo de silicato, do teor de adição e da disponibilidade hídrica em diferentes relações água/cimento.

Desta forma, este estudo foi delineado para comparar os efeitos do TS40 incorporado diretamente em pastas e argamassas de cimento Portland, nos teores de 1%, 5% e 10%, para a relação água/cimento de 0,47. Foram avaliados o índice de consistência e a resistência à compressão aos 7 e 28 dias.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Empregou-se cimento Portland CP V ARI, água e agregado miúdo na forma de pó de pedra de origem gnáissica, com massa específica igual a 2,61 g/cm³. Foi utilizado silicato de etila TS40, um polissilicato parcialmente pré-hidrolisado, conforme especificações do fornecedor. A Tabela 1 reúne as propriedades físico-químicas informadas em ficha técnica. Essas propriedades embasam a discussão de aspectos reológicos e de demanda hídrica associados ao processo de hidrólise. A Tabela 2 mostra a composição química do cimento utilizado. Por fim, a Tabela 3 apresenta a granulometria do agregado utilizado na produção das argamassas.

Tabela 1 - Propriedades físicas do silicato de etila utilizado

Propriedade	TS40
Composição	Poli etóxi siloxano
Densidade a 20°C (g/cm³)	1,055 a 1,065
Teor mínimo de SiO_2 (%)	40
Viscosidade a 25°C (cP, aprox.)	5
Índice de refração a 25°C	1,396 a 1,398
Estado de hidrólise	Parcialmente hidrolisado
Proporção de sólidos[1]	40,88%

Fonte: Hergrand do Brasil Ltda, *[S.d.]* e autores[1].

Tabela 2 - Composição química média do cimento CPV, em %

Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Perda ao fogo	CaO livre	Resíd. Insol.	Equiv. Alcal.
4,39	18,6	3,69	61,3	3,37	2,70	3,56	1,65	0,83	0,68

Fonte: Itambé, 2025.

Tabela 3 - Granulometria do agregado utilizado

Peneira com abertura de malha		Quantidade de material em massa	
Passante	Retido	%	g
4,75 mm	2,36 mm	10	99,0
2,36 mm	1,18 mm	25	247,5
1,18 mm	600 µm	25	247,5
600 µm	300 µm	25	247,5
300 µm	150 µm	15	148,5

Fonte: ABNT NBR 15577-4, 2018.

2.2 Dosagem, moldagem e cura

Foram produzidas pastas e argamassas de cimento Portland adotando-se a relação água/cimento de 0,47, selecionada após triagem preliminar de trabalhabilidade em pastas, na qual proporções inferiores resultaram em mistura de difícil manuseio e proporções superiores produziram pastas excessivamente fluidas, prejudicando a moldagem e a comparabilidade entre composições. Produziu-se um traço de referência, sem adição, e três traços com incorporação de TS40 nos teores de 1%, 5% e 10%, em relação à massa de cimento. A água de amassamento foi ajustada para manter a relação água/cimento nominal, considerando a fração líquida do silicato incorporado. As pastas foram moldadas em corpos de prova cilíndricos de 2 cm por 4 cm. As argamassas foram produzidas no traço 1:2,25, mantendo-se a relação água/cimento correspondente, e moldadas em corpos de prova cilíndricos de 5 cm por 10 cm. Após a desmoldagem, todos os corpos de prova foram curados por imersão em solução saturada de $Ca(OH)_2$ até as idades de ensaio, com o objetivo de padronizar o meio de cura e reduzir a lixiviação de compostos solúveis.

2.3 Ensaios

No estado fresco, o índice de consistência foi determinado conforme a ABNT NBR 13276:2016, registrando-se três leituras do diâmetro de espalhamento para cada traço e calculando-se o valor médio. No estado endurecido, a resistência à compressão foi obtida aos 7 e 28 dias conforme a ABNT NBR 13279:2005, utilizando-se três corpos de prova por idade, totalizando seis por traço.

2.4 Análise estatística

Para os resultados de índice de consistência (IC), foram apresentados os valores médios, os desvios padrão e as variações percentuais em relação ao traço de referência. Não foi realizada análise estatística inferencial para esse ensaio, uma vez que as três leituras de espalhamento corresponderam a repetições de medida obtidas na mesma amostra, não configurando replicações experimentais independentes.

Para os resultados de resistência à compressão, os valores brutos foram submetidos à análise de variância de um fator, considerando o teor de TS40 como variável independente. As análises foram conduzidas separadamente para cada matriz, pasta e argamassa, e para cada idade de ensaio, 7 e 28 dias. Quando identificada diferença global significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se nível de significância de 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

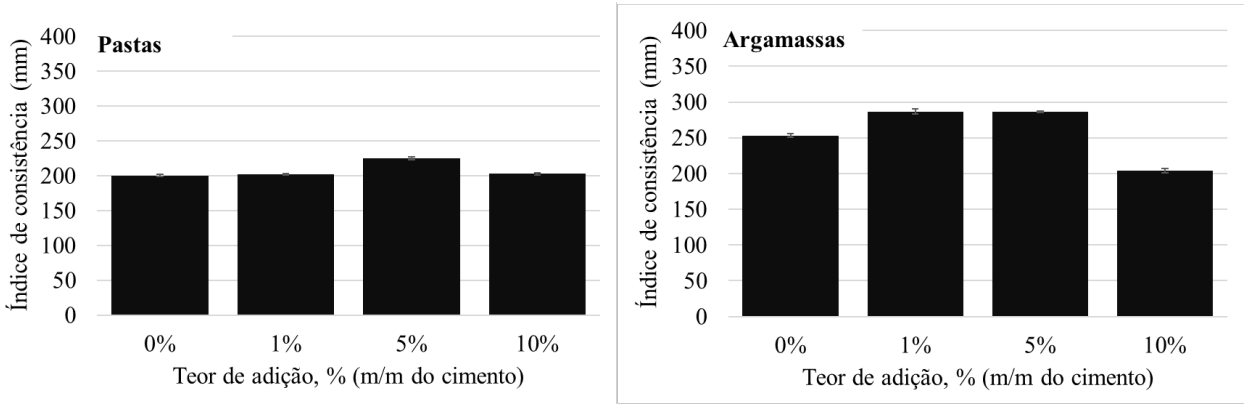
3.1 Índice de Consistência

Os resultados de IC são apresentados de forma descritiva na Tabela 4, por meio dos valores médios, dos desvios padrão e das variações percentuais em relação ao traço de referência. Como as três leituras de espalhamento foram obtidas na mesma amostra para cada traço, não foi aplicada análise estatística inferencial a esse ensaio. Verifica-se que o teor de 5% promoveu aumento de aproximadamente 12,3% nas pastas e 13,2% nas argamassas, enquanto a dosagem de 10% provocou redução de cerca de 19,5% no índice de consistência das argamassas. A Figura 1 ilustra o comportamento do índice de consistência de pastas e argamassas em função do teor de incorporação de TS40.

Tabela 4 - Índice de consistência das pastas e argamassas, em mm, em função do teor de adição do silicato de etila

Produto	Teor de adição do TEOS (%)	IC (mm)	DP (mm)	Variação em relação a referência (%)
Pasta	0%	200	1,53	0,00
	1%	202	1,00	0,83
	5%	225	2,00	12,31
	10%	203	1,53	1,16
Argamassa	0%	253	2,65	0,00
	1%	287	3,51	13,31
	5%	286	1,15	13,18
	10%	204	3,21	-19,50

Figura 1 - Índice de consistência das pastas e argamassas, em mm, em função do teor de adição do silicato de etila



Verifica-se que o espalhamento se manteve próximo ao traço de referência ou foi ampliado em teores baixos a intermediários, enquanto teores mais elevados tenderam a reduzir a fluidez, indicando a existência de uma faixa de dosagem mais favorável ao desempenho reológico para a relação água/cimento adotada.

Nas pastas, a incorporação de TS40 não resultou em perda progressiva da fluidez com o aumento do teor de adição. Verifica-se aumento do índice de consistência em teores intermediários, atingindo 225 mm para 5%, o que corresponde a um incremento de aproximadamente 12,3% em relação ao traço de referência (200 mm). Para os teores de 1% e 10%, os valores permaneceram próximos ao traço de referência, com variações inferiores a 2%, indicando que a adição não compromete significativamente o espalhamento nessas condições. Esses resultados sugerem a existência de uma faixa de dosagem na qual a fluidez pode ser preservada ou ligeiramente ampliada.

Nas argamassas, o efeito do teor de TS40 mostrou-se mais pronunciado do que nas pastas, evidenciando maior sensibilidade do sistema com agregado às alterações na fase líquida disponível. Em relação ao traço de referência (253 mm), os teores de 1% e 5% elevaram o índice de consistência para 287 mm e 286 mm, correspondendo a incrementos de aproximadamente 13,3% e 13,0%, respectivamente. Por outro lado, a adição de 10% resultou em redução expressiva do espalhamento, atingindo 204 mm, o que representa uma diminuição de cerca de 19,5%. Esse comportamento indica que, embora teores moderados favoreçam a trabalhabilidade, a superdosagem compromete significativamente a fluidez do sistema. A redução do espalhamento em teores elevados pode impactar negativamente a moldagem e o adensamento das argamassas, aumentando o risco de incorporação de vazios e, consequentemente, de prejuízos às propriedades mecânicas e à durabilidade.

A tendência observada é coerente com a competição por água entre as reações de hidrólise e condensação do silicato de etila e o processo de hidratação do cimento. Em teores intermediários, o caráter parcialmente pré-hidrolisado do TS40 pode reduzir a demanda hídrica imediata e favorecer maior estabilidade reológica, contribuindo para a manutenção do espalhamento. Em contrapartida, em teores elevados, a maior formação de espécies reativas e a intensificação dos processos de oligomerização e gelificação aumentam a viscosidade aparente e reduzem a água livre disponível, resultando na diminuição da fluidez.

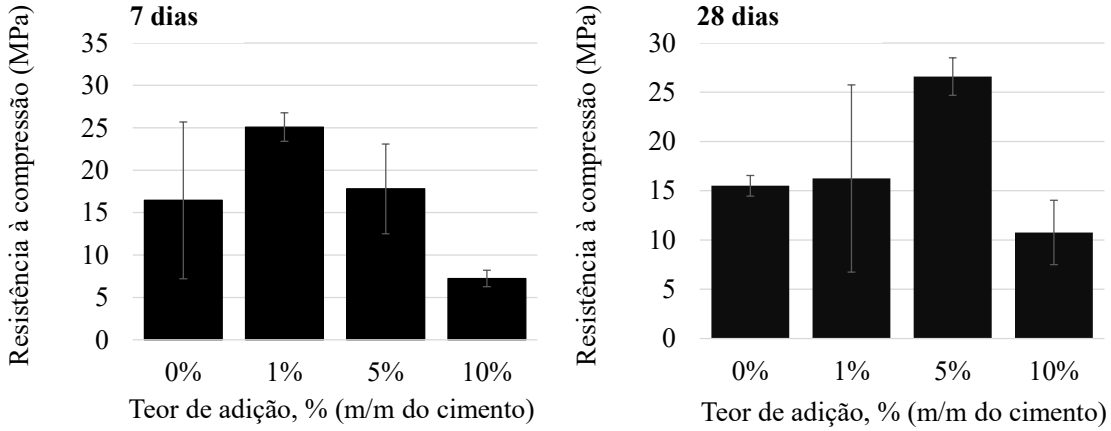
3.2 Resistência à compressão

Os valores médios de resistência à compressão, acompanhados dos respectivos desvios padrão e da variação percentual em relação ao traço de referência, são apresentados nas Tabelas 5 e 6. As Figuras 2 e 3 ilustram o comportamento da resistência à compressão de pastas e argamassas aos 7 e 28 dias, com barras de erro correspondentes ao desvio padrão. Adicionalmente, os resultados foram submetidos à análise de variância de um fator, seguida do teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, para comparação entre os teores de TS40 em cada matriz e idade.

Tabela 5 - Resistência à compressão média das pastas aos 7 e 28 dias, em MPa, em função do teor de adição do silicato de etila

Idade (dias)	Teor de adição do TEOS (%)	Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Variação (%)
7	0%	16,45	9,25	0,00
	1%	25,08	1,68	52,46
	5%	17,80	5,28	8,21
	10%	7,24	0,96	-55,99
28	0%	15,50	1,04	0,00
	1%	16,25	9,51	4,84
	5%	26,60	1,90	71,61
	10%	10,76	3,26	-30,58

Figura 2 - Resistência à compressão média das pastas aos 7 e 28 dias, em MPa, em função do teor de adição do silicato de etila



Nas pastas, as resistências médias aos 7 dias foram de 16,45 MPa, 25,08 MPa, 17,80 MPa e 7,24 MPa para os teores de 0%, 1%, 5% e 10%, respectivamente. A análise de variância indicou efeito significativo do teor de TS40 nessa idade ($F = 5,50$; $p = 0,0240$). Entretanto, pelo teste de Tukey, verificou-se diferença estatisticamente significativa apenas entre os teores de 1% e 10% ($p = 0,0158$). Embora o teor de 1% tenha apresentado a maior média e o teor de 10% a menor, os teores de 0%, 1% e 5% não diferiram estatisticamente entre si. Esses resultados indicam que, aos 7 dias, a principal evidência estatística foi a redução de desempenho associada à superdosagem.

Aos 28 dias, as resistências médias das pastas foram de 15,50 MPa, 16,25 MPa, 26,60 MPa e 10,76 MPa para os teores de 0%, 1%, 5% e 10%, respectivamente. A análise de variância também indicou efeito significativo do teor de TS40 ($F = 5,05$; $p = 0,0298$). No entanto, o teste de Tukey apontou

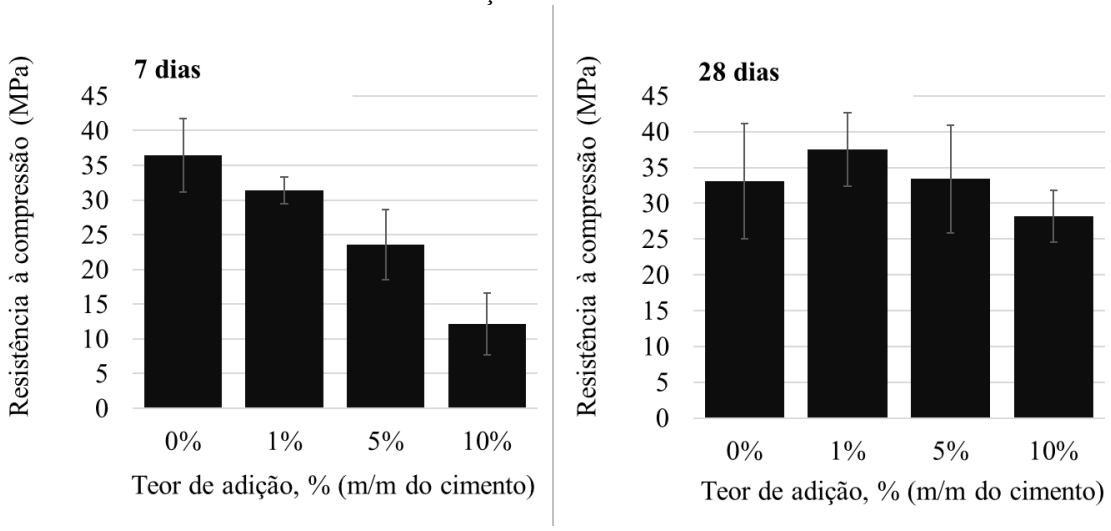
diferença significativa apenas entre os teores de 5% e 10% (p = 0,0227). Assim, embora 5% tenha apresentado a maior média de resistência aos 28 dias, esse teor não diferiu estatisticamente do traço de referência nem do teor de 1%, o que recomenda cautela na interpretação de eventual superioridade mecânica em relação às demais composições.

Os valores médios de resistência à compressão das argamassas, acompanhados dos respectivos desvios padrão e da variação percentual em relação ao traço de referência, são apresentados na Tabela 6. As tendências observadas são ilustradas na Figura 3, que apresenta a evolução da resistência aos 7 e 28 dias em função do teor de adição de TS40, com barras de erro correspondentes ao desvio padrão. De modo geral, verifica-se que o comportamento mecânico das argamassas é sensível ao teor de adição, refletindo as alterações na trabalhabilidade e na compacidade do sistema.

Tabela 6 - Resistência à compressão médias das argamassas aos 7 e 28 dias, em MPa, em função do teor de adição do silicato de etila

Idade (dias)	Teor de adição do TEOS (%)	Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Variação (%)
7	0%	36,38	5,28	0,00
	1%	31,38	1,96	-13,74
	5%	23,59	5,04	-35,15
	10%	12,11	4,47	-66,71
28	0%	33,07	8,00	0,00
	1%	37,47	5,11	13,31
	5%	33,40	7,50	1,00
	10%	28,18	3,59	-14,80

Figura 3 - Resistência à compressão média das argamassas aos 7 e 28 dias, em MPa, em função do teor de adição do silicato de etila



Nas argamassas, as resistências médias aos 7 dias foram de 36,38 MPa, 31,38 MPa, 23,59 MPa e 12,11 MPa para os teores de 0%, 1%, 5% e 10%, respectivamente. A análise de variância revelou efeito significativo do teor de TS40 ($F = 28,99$; $p = 1,05 \times 10^{-6}$). Pelo teste de Tukey, observaram-se diferenças significativas entre 0% e 5% (p = 0,0015), entre 0% e 10% (p < 0,0001), entre 1% e 10% (p < 0,0001) e entre 5% e 10% (p = 0,0039). As comparações entre 0% e 1% e entre 1% e 5%

não atingiram significância estatística ao nível de 5%. Esse comportamento indica que o aumento do teor de TS40, sobretudo para 10%, foi prejudicial ao desempenho mecânico inicial das argamassas, possivelmente em razão da redução de água livre, do aumento da viscosidade do sistema e da maior dificuldade de adensamento.

Aos 28 dias, as resistências médias das argamassas foram de 33,07 MPa, 37,47 MPa, 33,40 MPa e 28,18 MPa para os teores de 0%, 1%, 5% e 10%, respectivamente. Nessa idade, a análise de variância não indicou efeito significativo do teor de TS40 ($F = 1,82$; $p = 0,1847$). Consequentemente, embora o teor de 1% tenha apresentado a maior média numérica, não se pode afirmar superioridade estatisticamente significativa em relação aos demais grupos. Esse resultado sugere que, aos 28 dias, as diferenças observadas entre as argamassas foram insuficientes para caracterizar efeito estatístico do teor de adição.

A análise combinada dos resultados de consistência e resistência mostra que o desempenho mecânico não depende exclusivamente das variações de espalhamento. Nas pastas, por exemplo, a fluidez permaneceu próxima à referência para parte das composições, mas os resultados de resistência revelaram sensibilidade à dosagem, especialmente pela queda associada ao teor de 10%. Nas argamassas, por sua vez, os teores de 1% e 5% favoreceram a trabalhabilidade, mas isso não se traduziu automaticamente em ganho mecânico estatisticamente significativo aos 28 dias. Em conjunto, os resultados sugerem que dosagens moderadas podem ser operacionalmente mais favoráveis, enquanto teores elevados tendem a comprometer a compacidade e a uniformidade da matriz, com reflexos negativos sobre a resistência.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou os efeitos da incorporação de TS40 em pastas e argamassas de cimento Portland, com relação água/cimento de 0,47, considerando teores de 1%, 5% e 10%, com foco no comportamento no estado fresco e no desempenho mecânico aos 7 e 28 dias. Os resultados obtidos mostram que o efeito do TS40 depende do teor de adição, da idade de ensaio e do tipo de matriz.

No estado fresco, os teores de 1% e 5% preservaram ou elevaram o índice de consistência, com incrementos de até aproximadamente 13% nas argamassas, enquanto a dosagem de 10% resultou em redução de cerca de 19,5% no espalhamento, indicando prejuízo à trabalhabilidade e evidenciando tendência de superdosagem para a condição avaliada.

Nas pastas, a análise estatística indicou efeito do teor de TS40 aos 7 dias ($F = 5,50$; $p = 0,0240$) e aos 28 dias ($F = 5,05$; $p = 0,0298$). Contudo, pelo teste de Tukey, a diferença significativa aos 7 dias ocorreu apenas entre os teores de 1% e 10%, enquanto, aos 28 dias, foi observada apenas entre 5% e 10%. Assim, ainda que 5% tenha apresentado a maior média aos 28 dias, os resultados indicam principalmente o efeito deletério da dosagem de 10%, mais do que um ganho estatisticamente comprovado em relação ao traço de referência.

Nas argamassas, houve efeito significativo do teor aos 7 dias ($F = 28,99$; $p = 1,05 \times 10^{-6}$), com reduções estatisticamente evidentes sobretudo para o teor de 10%. Aos 28 dias, embora o teor de 1% tenha apresentado a maior média de resistência, não foi constatada diferença estatisticamente significativa entre os grupos avaliados ($F = 1,82$; $p = 0,1847$).

Em conjunto, os resultados indicam que dosagens moderadas de TS40, particularmente entre 1% e 5%, podem ser operacionalmente mais favoráveis por conciliarem manutenção da trabalhabilidade

e desempenho mecânico compatível, ao passo que a dosagem de 10% tende a prejudicar a fluidez e a resistência, especialmente nas idades iniciais. Portanto, para a relação água/cimento avaliada, a incorporação de TS40 deve ser conduzida com cautela, evitando-se teores elevados.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) pela infraestrutura laboratorial, ao Complexo de Laboratórios Multiusuários (CLabmu), ao CNPq e à Fundação Araucária pelo apoio institucional, e às empresas Itambé e Datiquim pelo fornecimento de materiais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/confea/vf/viewer.aspx?Q=U2ZmRExiRTZMOXQ3RFlBK05FL2FoK1liaDVETEIwTHVuNGVvZU1IR1hpWT0=>. Acesso em: 22 fev. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/confea/vf/viewer.aspx?Q=U2ZmRExiRTZMOXZjbE9abUNCSGRpTGp1OEhwOEhvY1oxQWU2VFVzNnM5cz0=>. Acesso em: 22 fev. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-4: **Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018. Disponível em: < https://www.abntcatalogo.com.br/confea/pnm.aspx?Q=aXFpUE9PUS9wRllaMHJWaFkvekM5Y01JLzlhZW50L01GQlZnUEp0cDRxdz0=>. Acesso em: 21 abr. 2026.

BARBERENA-FERNÁNDEZ, A. M.; CARMONA-QUIROGA, P. M.; BLANCO-VARELA, M. T. **Interaction of TEOS with cementitious materials: Chemical and physical effects.** Cement and Concrete Composites, v. 55, p. 145–152, 1 jan. 2015.

BASHEER, Lulu; KROPP, Joerg; CLELAND, David J. **Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review.** Construction and Building Materials, Near Surface Testing of. v. 15, n. 2, p. 93–103, 1 mar. 2001.

BENTZ, Dale P.; GARBOCZI, Edward J. **Percolation of phases in a three-dimensional cement paste microstructural model.** Cement and Concrete Research, v. 21, n. 2, p. 325–344, 1 mar. 1991.

BRINKER, C. J.; SCHERER, G. W. **Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing**. 1. ed. Boston: Academic Press, 1990.

CAI, Yamei *et al.* **The use of tetraethyl orthosilicate silane (TEOS) for surface-treatment of hardened cement-based materials: A comparison study with normal treatment agents.** Construction and Building Materials, v. 117, p. 144–151, ago. 2016.

EVONIK OPERATIONS GMBH. **Dynasylan® 40.** Germany: Evonik Operations GmbH, 25 out. 2025. Disponível em: <https://products.evonik.com/assets/n_/us/TDS_GEN_Dynasylan_40_EN_TDS_GEN_52000282_en_US.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2026.

HERGRAND DO BRASIL LTDA. **Catálogo técnico Siliethyl TS28 e Siliethyl TS40.** São Paulo: Hergrand do Brasil Ltda, *[S.d.]*.

ITAMBÉ. **Relatórios de Ensaio.** Brasil: *[S.n.]*. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/assessoria-tecnica/relatorios-de-ensaio/?pro=371>. Acesso em: 17 jul. 2025.

LANGARO, E. A. **Estudo de diagnóstico e inibição da reação álcali-sílica utilizando cinza volante e proteção de superfície com silicatos.** Tese (Doutorado)—Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2023.

MARTYS, N. S. **Survey of concrete transport properties and their measurement: NISTIR**. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology (NIST), 1995. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nistir5592.pdf>.

PAPADAKIS, Vagelis G.; VAYENAS, Costas G.; FARDIS, Michael N. **Experimental investigation and mathematical modeling of the concrete carbonation problem.** Chemical Engineering Science, v. 46, n. 5, p. 1333–1338, 1 jan. 1991.

SANDROLINI, Franco; FRANZONI, Elisa; PIGINO, Barbara. **Ethyl silicate for surface treatment of concrete – Part I: Pozzolanic effect of ethyl silicate.** Cement and Concrete Composites, v. 34, n. 3, p. 306–312, 1 mar. 2012.

WACKER CHEMIE AG. **Wacker® Silicate Tes 40 WN.** München: Wacker Chemie AG, 11 set. 2022. Disponível em: <https://www.wacker.com/2130a57b-6d88-45d6-94a0-6f593f72df8c>. Acesso em: 22 fev. 2026.

WACKER CHEMIE AG. **Wacker® Silicate Tes 28.** München: Wacker Chemie AG, 16 jun. 2024. Disponível em: <https://www.wacker.com/h/en-us/medias/WACKER-SILICATE-TES-28-en-2024.06.16.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2026.

CAPÍTULO 27 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/xrsm0b51
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/774b0w13

INTERAÇÃO ENTRE OS COMPOSTOS HIDRATADOS DA MATRIZ CIMENTÍCIA E TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE À BASE DE SILICATO DE ETILA

Adriana Fiori Moura[1]*; Tauana Andriele Cecchin Paza[1]; Eloise Aparecida Langaro[1]; Eduardo Pereira[1] e Fernanda Brekailo[1]
*Autor de contato: a.fiorimoura@gmail.com

[1] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil

RESUMO

Este trabalho avalia dois tratamentos de superfície à base de silicato de etila, TS28 e TS40, visando compreender sua interação com a matriz cimentícia e seus efeitos em parâmetros físicos associados ao transporte de água em meio poroso. Inicialmente, os tratamentos foram caracterizados por termogravimetria e derivada termogravimétrica, identificando-se faixas de perda de massa associadas à liberação de voláteis e à evolução térmica das formulações. Em seguida, pastas de cimento Portland (a/c = 0,45) foram submetidas aos tratamentos após cura e analisadas por difração de raios X, fluorescência de raios X e termogravimetria, além de ensaios físicos com ênfase em absorção por imersão e porosidade aparente, sob diferentes condições de cura. Os resultados indicaram perfis térmicos distintos entre TS28 e TS40 e respostas diferenciadas do sistema cimentício. Em conjunto, os achados indicam que a resposta do sistema cimentício ao tratamento de superfície com silicato de etila é condicionada tanto ao tipo de formulação quanto à disponibilidade hídrica após a aplicação, com melhor desempenho do TS40 em cura úmida, evidenciado por menores valores de porosidade aparente e absorção.
Palavras-chave: tratamento de superfície; pasta de cimento; silicato de etila.

ABSTRACT

This study evaluates two ethyl silicate-based surface treatments, TS28 and TS40, aiming to understand their interaction with cementitious matrices and their effects on physical parameters associated with water transport in porous media. First, the treatments were characterized by thermogravimetry and derivative thermogravimetry, allowing the identification of mass-loss ranges associated with the release of volatile compounds and the thermal evolution of the formulations. Subsequently, Portland cement pastes with a water-to-cement ratio of 0.45 were subjected to the surface treatments after curing and analyzed by X-ray diffraction, X-ray fluorescence, and thermogravimetry, in addition to physical tests focused on water absorption and apparent porosity under different curing conditions. The results revealed distinct thermal profiles for TS28 and TS40, as well as differentiated responses of the cementitious system. Overall, the findings indicate that the response of the cementitious matrix to ethyl silicate surface treatment depends on both the formulation type and the availability of water after application, with TS40 under wet curing showing the most favorable performance, marked by lower apparent porosity and water absorption.
Keywords: surface treatment; cement paste; ethyl silicate.

1. INTRODUÇÃO

A durabilidade de materiais cimentícios é fortemente condicionada pela zona superficial, na qual se concentram os processos de interação com água e espécies agressivas. Nesse cenário, tratamentos de superfície têm sido empregados para modificar propriedades de transporte, reduzir o ingresso de agentes deletérios e, consequentemente, contribuir para o desempenho em serviço. A interpretação da eficiência desses sistemas beneficia-se de uma leitura integrada entre mecanismos de transporte e evidências físico-químicas do substrato tratado (Medeiros; Helene, 2009), por revisões recentes sobre tratamentos de superfície em concreto (Pan *et al*., 2017) e no contexto de proteção superficial com silicatos (Langaro, 2023).

Entre os tratamentos inorgânicos, o silicato de etila, frequentemente associado ao tetraetil ortossilicato (TEOS) e a polisilicatos parcialmente hidrolisados, destaca-se por atuar como precursor sol-gel. Em presença de umidade, sua hidrólise e condensação podem conduzir à formação de uma rede de sílica amorfa na região impregnada. Além do preenchimento parcial de poros, a sílica formada pode consumir portlandita e contribuir para a formação adicional de C-S-H na zona superficial, com possíveis ganhos de densificação e de propriedades de barreira. Evidências desses mecanismos e de melhoria de desempenho são reportadas na literatura (Barberena-Fernández; Carmona-Quiroga; Blanco-Varela, 2015; Cai *et al*., 2016; Franzoni; Pigino; Pistolesi, 2013; Pigino *et al*., 2012; Sandrolini; Franzoni; Pigino, 2012).

Apesar do uso recorrente do silicato de etila como consolidante e protetor superficial, persistem lacunas quanto à sua interação com os produtos de hidratação do cimento sob diferentes regimes de cura, especialmente no que se refere ao papel da disponibilidade hídrica após a aplicação na progressão das reações de hidrólise e condensação e em seus reflexos sobre a microestrutura superficial. Essa questão torna-se particularmente relevante ao comparar formulações comerciais com diferentes teores de SiO_2 e graus de pré-hidrólise, como TS28 e TS40 (Datiquim, 2026).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi investigar de que modo silicatos de etila com diferentes graus de pré-hidrólise, TS28 e TS40, influenciam a evolução das fases hidratadas e os parâmetros físicos associados ao transporte em pastas de cimento com relação água/cimento de 0,45, submetidas à cura úmida e à cura selada. Para tanto, as amostras foram avaliadas por difração de raios X, fluorescência de raios X, termogravimetria, absorção por imersão e porosidade aparente, buscando uma interpretação convergente dos efeitos do tipo de tratamento e da condição de cura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os materiais utilizados incluíram cimento Portland CPV-ARI e silicatos de etila nas formas TS28 e TS40. O CPV-ARI (Tabela 1) foi selecionado por apresentar baixo teor de adições minerais, reduzindo a interferência de materiais suplementares na interpretação do balanço Ca/Si e na quantificação de fases por TG. Para os ensaios no estado endurecido, foram moldados corpos de prova cilíndricos com 2,0 cm de diâmetro e 1,0 cm de altura.

Tabela 1 - Composição química média do cimento CPV, em %

Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Perda ao fogo	CaO livre	Resíd. Insol.	Equiv. Alcal.
4,39	18,6	3,69	61,3	3,37	2,70	3,56	1,65	0,83	0,68

Fonte: Itambé, 2025.

Os silicatos de etila TS28 e TS40 foram utilizados como tratamentos de superfície, conforme especificações do fornecedor. As principais diferenças entre as formulações referem-se ao teor mínimo de SiO_2 e ao grau de pré-hidrólise, conforme apresentado na Tabela 2. Essas características foram consideradas no delineamento experimental e na interpretação dos resultados obtidos por difratometria de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX) e termogravimetria (TG).

Tabela 2 - Propriedades físicas dos silicatos de etila utilizados

Propriedade	TS28	TS40
Composição	Orto silicato de tetraetila	Poli etóxi siloxano
Densidade a 20°C (g/cm³)	0,93 a 0,94	1,055 a 1,065
Teor mínimo de SiO_2 (%)	28	40
Viscosidade a 25°C (cP, aprox.)	1	5
Índice de refração a 25°C	1,381 a 1,383	1,396 a 1,398
Estado de hidrólise	Não hidrolisado	Parcialmente hidrolisado
Proporção de sólidos[1]	10,91%	53,13%

Fonte: Hergrand do Brasil Ltda, *[S.d.]*.

2.2 Métodos

2.2.1 Caracterização dos silicatos

Os silicatos de etila são fornecidos como líquidos, nos quais a fração reativa é majoritariamente orgânica e, em parte, já apresenta espécies siloxânicas. Para fins de comparação entre TS28 e TS40, determinou-se o teor de sólidos por secagem em estufa a 100 °C até massa constante. A fração não volátil obtida após secagem foi utilizada para as análises de DRX e TG/DTG.

A composição química do substrato cimentício foi avaliada por FRX nas pastas em cura úmida, enquanto a evolução de fases hidratadas foi investigada por DRX e TG/DTG.

2.2.2 Caracterização química e mineralógica das pastas

Foram moldadas pastas cilíndricas com relação água/cimento de 0,45. Após 24 h, aplicou-se cada produto na superfície das pastas com pincel, em duas demãos cruzadas (sentidos vertical e horizontal), com intervalo de 20 min entre demãos.

No total, foram utilizados 28 corpos de prova, sendo oito sem tratamento (referência, REF), dez com TS28 e dez com TS40. Após 48 h, metade das amostras de cada categoria foi submetida à cura em câmara úmida (U), enquanto a outra metade permaneceu em cura selada (S), sem contato direto com água.

As análises de caracterização foram realizadas aos 28 dias. Para interromper a hidratação, os corpos de prova foram submetidos à troca de solvente com álcool isopropílico e, em seguida, à secagem controlada, procedimento recomendado para preservação da assembleia de hidratos em análises por DRX e TG (Snellings *et al*., 2018; Hoppe Filho *et al*., 2021).

Para os ensaios de DRX e TG/DTG, as amostras foram moídas em cadinho com pistilo. O DRX foi realizado em difratômetro com radiação Cu Kα (λ = 1,54 Å), faixa de 5° a 90° (2θ) e passo de 0,02°. A TG/DTG foi conduzida até 750 °C sob atmosfera inerte, registrando-se a perda de massa em função da temperatura. Para FRX, as pastas em cura úmida foram analisadas na condição de pó seco e homogeneizado.

2.2.3 Ensaio de absorção e porosidade

Buscando avaliar a absorção de água e a porosidade aparente, foi realizado o ensaio de absorção por imersão com base na ABNT NBR 16917 (2021) e em Hoppe Filho *et al*. (2021). Para isso, foram determinadas a massa seca (mA), a massa saturada superfície seca (mB) e a massa submersa (mC). Para o ensaio, foi utilizado um corpo de prova por categoria, após 28 dias de cura dos silicatos, de modo que os resultados obtidos para essa etapa devem ser interpretados em caráter descritivo e comparativo.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterização dos tratamentos (TS28 e TS40)

3.1.1 Teor de sólidos

Na Tabela 3 é possível visualizar a porcentagem de sólidos presente em cada um dos tratamentos utilizados. Observou-se que o TS40 apresentou teor de sólidos superior ao TS28, resultado coerente com seu maior teor nominal de SiO_2 e com seu caráter parcialmente pré-hidrolisado. Em termos de implicação para o sistema, uma maior fração não volátil tende a aumentar a disponibilidade de espécies silicosas remanescentes após a evaporação de voláteis, o que pode influenciar a interação do tratamento com a matriz cimentícia, sobretudo quando há disponibilidade hídrica para a progressão das reações de hidrólise e condensação na zona impregnada.

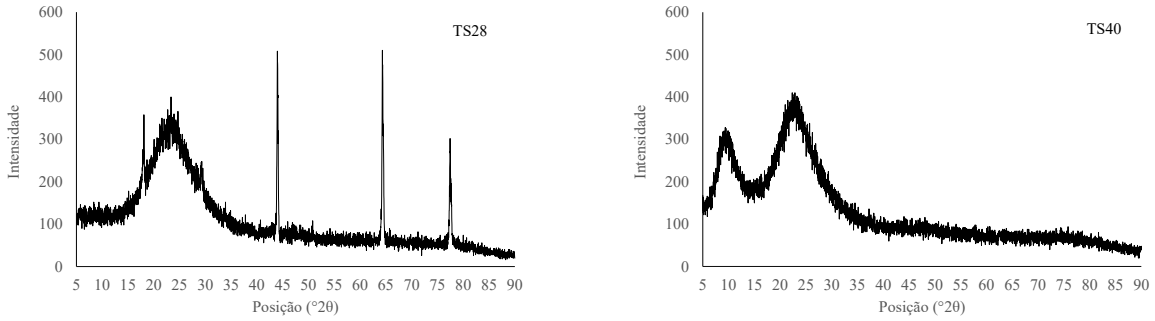
Tabela 3 - Teor de sólidos dos tratamentos

Tratamento	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Teor de sólidos (%)
TS28	50,0	5,46	10,91%
TS40	19,2	10,2	53,13

3.1.2 Difratometria de raios X

Na Figura 1 são apresentados os difratogramas de raios X dos tratamentos. O TS40 exibiu predominantemente contribuição amorfa, sem reflexões intensas, enquanto o TS28 apresentou reflexões discretas sobre um halo amorfo, indicando coexistência de frações amorfa e cristalina. Esse resultado é compatível com diferenças de formulação e de processamento entre os produtos, que podem refletir-se na forma de sílica presente após secagem.

Figura 1 - Difração de raios X dos tratamentos TS28 e TS40, à esquerda e à direita, respectivamente



3.1.3 Fluorescência de raios X

A Tabela 4 apresenta a composição química da fração não volátil dos tratamentos, obtida por FRX. Observa-se que ambos os produtos são dominados por CaO, em teores próximos de 75%, enquanto o SiO_2 constitui o segundo óxido mais representativo, com valores em torno de 12%. Em menores proporções, identificaram-se ainda Fe_2O_3, Al_2O_3, SO_3 e MgO.

Tabela 4 - Composição química dos tratamentos, em %

Composto / Tratamento	CaO	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	SO_3	MgO	K_2O	TiO_2	SrO
TS28	75,041	12,133	3,213	3,216	2,312	2,079	1,366	0,347	0,294
TS40	75,397	12,679	3,163	2,945	2,363	1,776	1,051	0,336	0,289

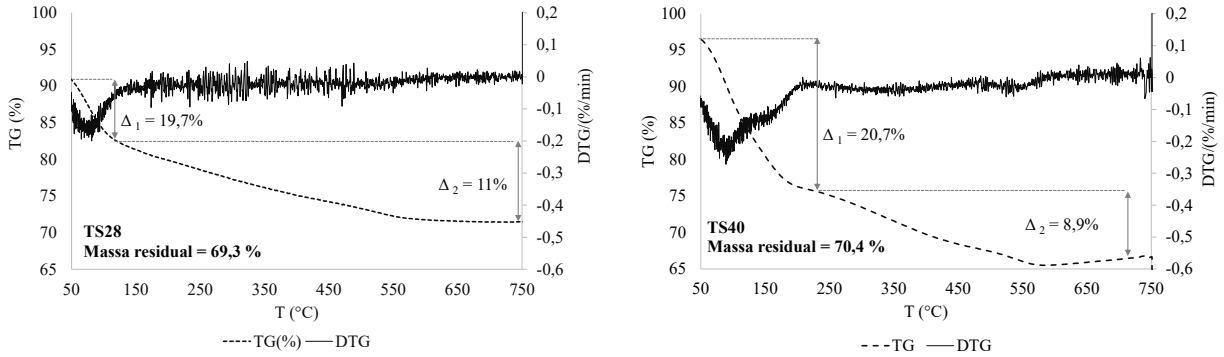
Em termos comparativos, o TS40 exibe teor ligeiramente superior de SiO_2 (12,679% versus 12,133% no TS28), em consonância com sua natureza mais silicosa. As demais variações são discretas, com TS28 apresentando valores marginalmente maiores de Al_2O_3, MgO e óxido de potássio (K_2O), enquanto dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de estrôncio (SrO) permanecem praticamente constantes.

No conjunto, os dados indicam alta similaridade composicional entre os tratamentos, com diferença principal associada ao incremento de SiO_2 no TS40, resultado que corrobora a interpretação dos difratogramas ao sugerir maior contribuição de fases silicosas no resíduo sólido.

3.1.4 Termogravimetria

Na Figura 2 são apresentadas as termogravimetrias dos tratamentos utilizados. Considerando que as curvas TG e DTG foram obtidas a partir da fração não volátil após secagem a 100 °C até massa constante, o primeiro evento térmico deve ser interpretado como a combinação de remoção de água fisicamente adsorvida e de voláteis residuais retidos na rede, além de condensação tardia de grupos silanol com liberação de moléculas leves (principalmente água, e eventualmente álcool). Nessa leitura, o TS28 apresenta o evento principal aproximadamente entre 30 e 125 °C, com perda de massa de 9,3%, enquanto o TS40 estende esse evento até cerca de 220 °C, com perda de 21,14%.

Figura 2 - Termogravimetria dos tratamentos TS28 e TS40, à esquerda e à direita, respectivamente



A maior extensão em temperatura e a maior perda de massa do TS40 são coerentes com sua condição parcialmente pré-hidrolisada e com a maior proporção de sólidos informada para o produto, o que tende a produzir uma rede sol-gel mais conectada e com maior capacidade de retenção de água e espécies voláteis no resíduo seco, prolongando a liberação desses constituintes na TG.

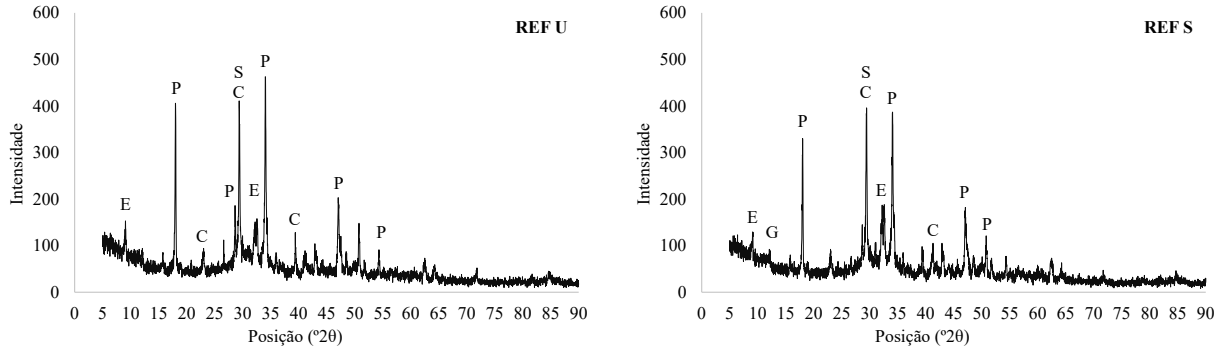
Em temperaturas mais elevadas, a perda de massa passa a ocorrer de forma mais lenta e difusa, compatível com a eliminação de remanescentes orgânicos e com processos de desidroxilação e densificação da fase silicosa até 750 °C. Essa interpretação é consistente com o fato de o TS40 ser globalmente mais "silicoso" que o TS28, tanto pelas especificações do fornecedor quanto pelo SiO_2 ligeiramente maior medido na fração não volátil.

3.2 Avaliações das pastas com os tratamentos de superfície

3.2.1 Difração de raios X

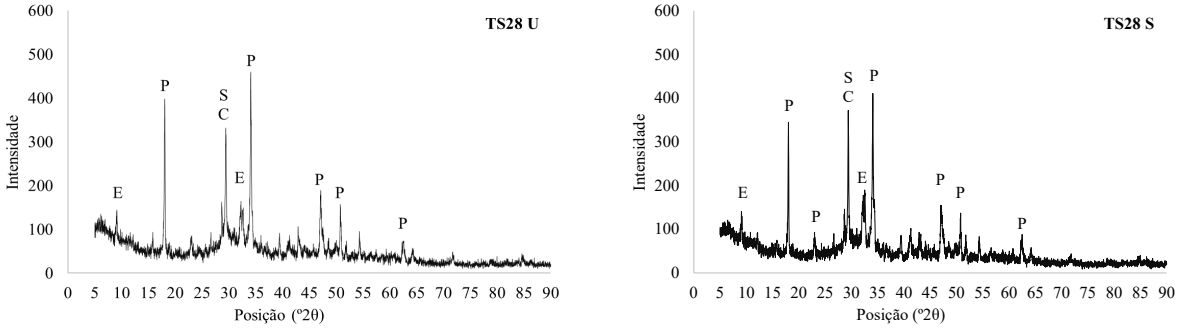
As Figuras 3 a 5 apresentam os difratogramas das pastas aos 28 dias. Identificaram-se etringita, portlandita e calcita, além do halo amorfo associado ao C-S-H. Na referência, a cura selada reduziu a intensidade relativa da portlandita, indicando menor avanço de hidratação. Nas amostras tratadas, observou-se alteração do halo amorfo, sugerindo modificação da região rica em C-S-H. Dada a baixa cristalinidade do C-S-H, a evidência por DRX é qualitativa e deve ser interpretada em conjunto com TG/DTG (Barberena-Fernández; Carmona-Quiroga; Blanco-Varela, 2015; Franzoni; Pigino; Pistolesi, 2013; Sandrolini; Franzoni; Pigino, 2012).

Figura 3 - DRX das amostras de referência em 28 dias de cura úmida (U) e cura selada (S), à esquerda e à direita, respectivamente



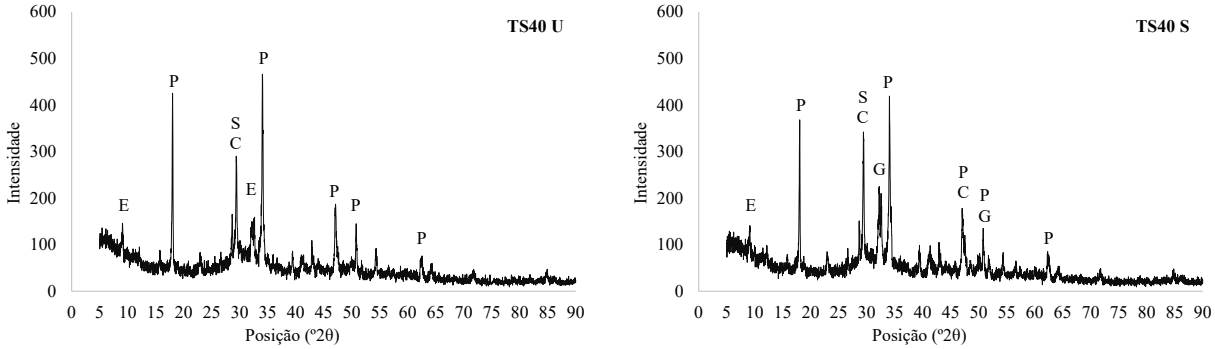
Legenda: P - Portlandita; C - Calcita; S - C-S-H (halo amorfo); G - Gipsita; E – Etringita

Figura 4 - DRX das amostras com tratamento (TS28) em 28 dias de cura úmida (U) e cura selada (S), à esquerda e à direita, respectivamente



Legenda: P - Portlandita; C - Calcita; S - C-S-H (halo amorfo); G - Gipsita; E – Etringita

Figura 5 - DRX das amostras com tratamento (TS40) em 28 dias de cura úmida (U) e cura selada (S), à esquerda e à direita, respectivamente



Legenda: P - Portlandita; C - Calcita; S - C-S-H (halo amorfo); G - Gipsita; E - Etringita

3.2.2 Fluorescência de Raios X

A Tabela 5 sintetiza os óxidos obtidos por FRX nas amostras em cura úmida. Observou-se incremento de SiO_2 de 11,909% (REF U) para 12,133% (TS28 U) e 12,679% (TS40 U), acompanhado de redução de CaO em relação à referência. O padrão é compatível com a maior contribuição silicosa do TS40 e reforça que, mesmo com aplicação superficial, há alteração detectável na composição global do material moído, ainda que a FRX possa subestimar mudanças restritas à zona impregnada, devido à homogeneização do pó analisado.

Tabela 5 - Principais óxidos obtidos por FRX nas amostras em cura úmida

Óxido	REF U (%)	TS28 U (%)	TS40 U (%)
CaO	76,909	75,041	75,397
SiO_2	11,909	12,133	12,679
Al_2O_3	3,246	3,216	2,945
Fe_2O_3	3,394	3,213	3,163
SO_3	2,367	2,312	2,363
MgO	n.d.	2,079	1,776
K2O	1,553	1,366	1,051
TiO_2	0,318	0,347	0,336
SrO	0,304	0,294	0,289

3.2.3 Termogravimetria

Foi realizado ensaio de termogravimetria para avaliar, de forma comparativa, alterações nos produtos hidratados associadas ao uso de silicatos como tratamento de superfície. Foram identificadas três faixas principais de perda de massa: a primeira, entre 25 °C e 375 °C, associada à desidratação de compostos hidratados, incluindo C-S-H e fases sulfoaluminatas. A segunda, entre 375 °C e 475 °C, atribuída à desidroxilação da portlandita. A terceira, entre 475 °C e 730 °C, relacionada predominantemente à decomposição de carbonatos. A partir das perdas de massa em cada patamar, foram estimados teores relativos associados às fases de interesse (Figuras 6 a 8). Os valores foram corrigidos para a base de não voláteis, visando permitir a comparação entre condições, procedimento reportado na literatura (Hoppe Filho *et al*., 2017).

Figura 6 - Termogravimetria das amostras de referência em 28 dias de cura úmida (U) e cura selada (S), à esquerda e à direita, respectivamente

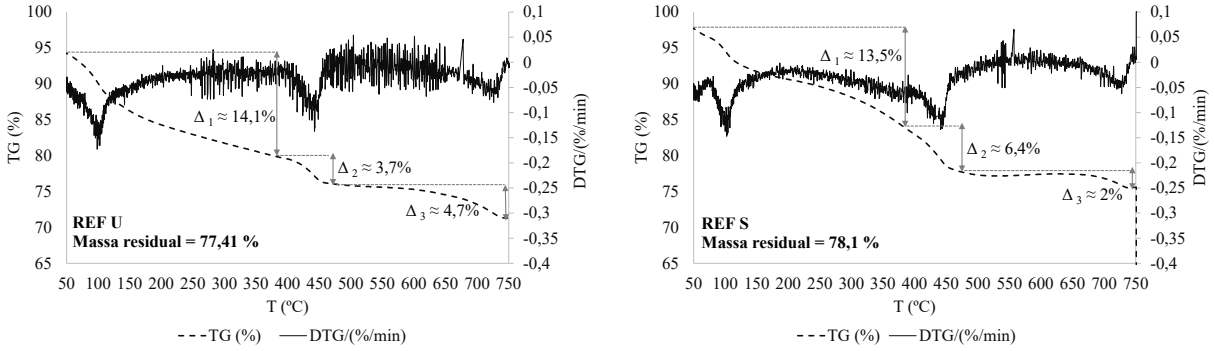


Figura 7 - Termogravimetria das amostras com tratamento (TS28) em 28 dias de cura úmida (U) e cura selada (S), à esquerda e à direita, respectivamente

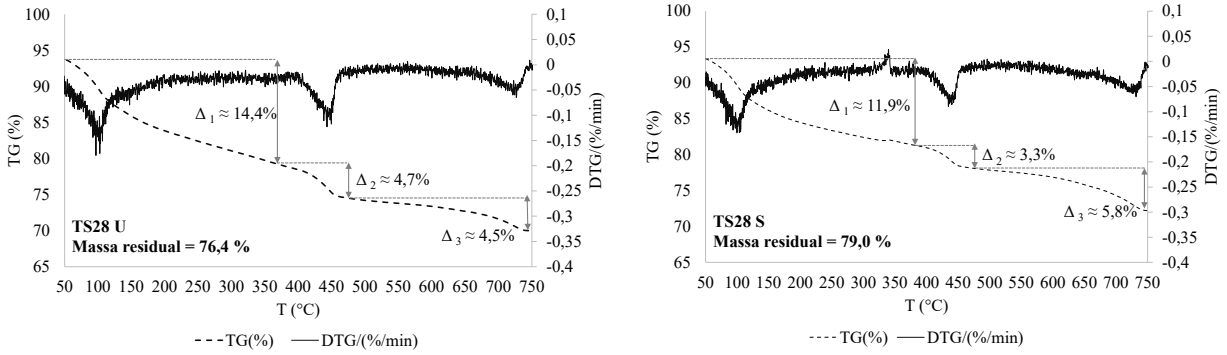
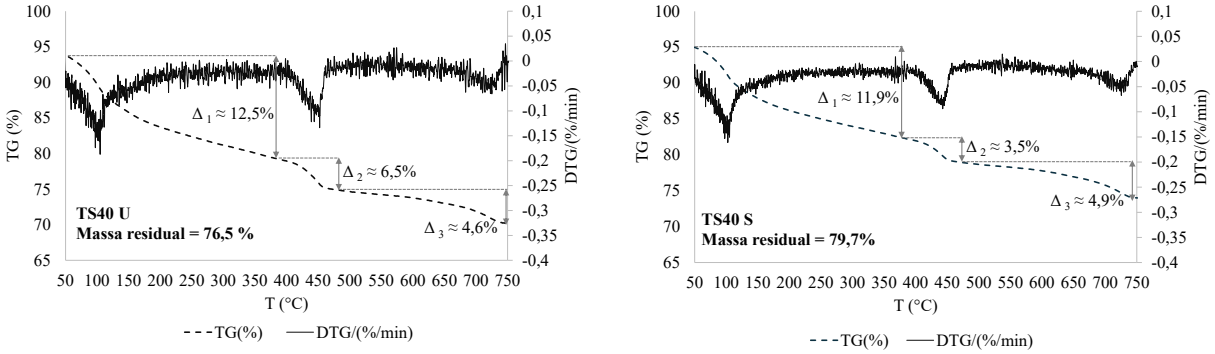


Figura 8 - Termogravimetria das amostras com tratamento (TS40) em 28 dias de cura úmida (U) e cura selada (S), à esquerda e à direita, respectivamente



Nas amostras tratadas, observou-se redução das perdas de massa no intervalo de 25 °C a 375 °C, associado à desidratação de compostos hidratados, com maior evidência nas condições de cura selada. Esse comportamento pode indicar menor grau de hidratação na região analisada e, ou, alteração na distribuição dos produtos hidratados próximos à superfície em função do tratamento.

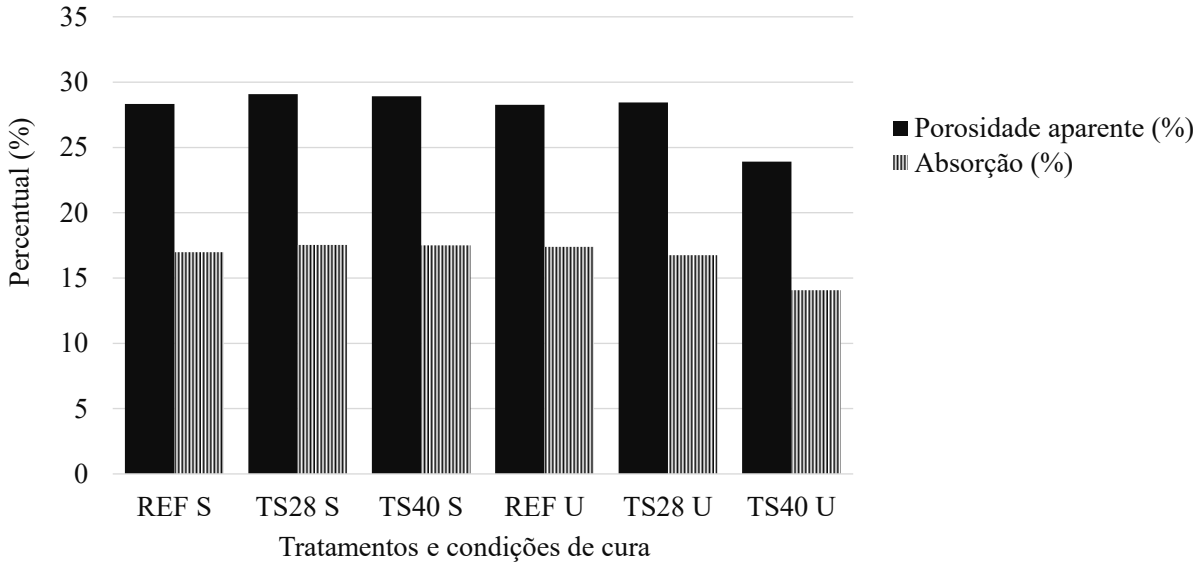
No intervalo de 375 °C a 475 °C, associado à portlandita, verificou-se redução do teor estimado de $Ca(OH)_2$ nas amostras seladas tratadas em relação à referência, comportamento compatível com consumo parcial de CH por reação com sílica e, ou, menor formação de CH por hidratação. Por outro lado, na cura úmida, os valores estimados de $Ca(OH)_2$ foram superiores nas amostras tratadas, o que pode refletir maior avanço de hidratação sob maior disponibilidade hídrica e microambiente superficial distinto, sem evidência conclusiva, aos 28 dias, de consumo líquido de CH. Assim, a interpretação deve ser realizada com cautela, considerando a amostragem, a heterogeneidade superficial e a necessidade de séries temporais e replicatas para consolidar o mecanismo, conforme discutido para TEOS (Barberena-Fernández; Carmona-Quiroga; Blanco-Varela, 2015; Sandrolini; Franzoni; Pigino, 2012).

Sob essa perspectiva, os resultados termogravimétricos devem ser analisados em conjunto com os ensaios físicos, uma vez que alterações na evolução dos hidratos e na disponibilidade de portlandita podem refletir-se, ainda que indiretamente, na estrutura porosa acessível ao transporte de água. Assim, a avaliação de absorção por imersão e porosidade aparente contribui para complementar a interpretação do efeito dos tratamentos na zona superficial das pastas.

3.2.4 Ensaio de Absorção e Porosidade

A Figura 9 apresenta os resultados de porosidade aparente e absorção por imersão das pastas de cimento aos 28 dias, em função do tratamento de superfície e da condição de cura.

Figura 9 - Resultados de porosidade aparente e absorção por imersão das pastas de cimento aos 28 dias, em função do tratamento de superfície e da condição de cura.



De modo geral, em cura selada, os valores de porosidade aparente e absorção permaneceram próximos entre a referência e as amostras tratadas, sem indicação de melhoria relevante, com porosidade em torno de 28% a 29% e absorção próxima de 17%. Em cura úmida, por outro lado, o

tratamento TS40 apresentou os resultados mais favoráveis, com porosidade aparente de 23,91% e absorção de 14,07%, inferiores aos observados para a referência em cura úmida, que apresentou 28,27% e 17,38%, respectivamente.

Com o objetivo de complementar a leitura dos valores absolutos apresentados na Figura 9, a Tabela 6 reúne os resultados de porosidade aparente e absorção, bem como a variação percentual em relação às amostras de referência dentro de cada condição de cura.

Tabela 6 - Resultados de porosidade aparente, absorção e variação percentual em relação às referências, por condição de cura

Condição	Comparação	Porosidade aparente (%)	Absorção (%)	Variação da porosidade aparente (%)	Variação da absorção (%)
Cura selada	REF S	28,33	16,99	—	—
Cura selada	TS28 S em relação à REF S	29,09	17,54	+2,68	+3,28
Cura selada	TS40 S em relação à REF S	28,92	17,51	+2,09	+3,05
Cura úmida	REF U	28,27	17,38	—	—
Cura úmida	TS28 U em relação à REF U	28,44	16,75	+0,60	-3,66
Cura úmida	TS40 U em relação à REF U	23,91	14,07	-15,42	-19,04

A análise da variação percentual reforça a distinção entre os comportamentos observados em cura selada e em cura úmida. Em cura selada, os tratamentos TS28 e TS40 promoveram aumentos discretos tanto na porosidade aparente quanto na absorção, variando de +2,09% a +2,68% para a porosidade e de +3,05% a +3,28% para a absorção, o que sugere ausência de melhoria física relevante nessa condição. Em cura úmida, o tratamento TS28 apresentou comportamento próximo ao da referência, com variação de +0,60% na porosidade aparente e de -3,66% na absorção. Já o TS40 apresentou reduções mais expressivas, de -15,42% na porosidade aparente e de -19,04% na absorção, configurando a resposta mais favorável entre as condições avaliadas.

Esses resultados sugerem que a efetividade do tratamento depende não apenas da formulação empregada, mas também da disponibilidade de água após a aplicação. Em condição úmida, a maior oferta hídrica pode ter favorecido a progressão das reações de hidrólise e condensação do silicato de etila, especialmente no caso do TS40, parcialmente pré-hidrolisado e com maior teor de sólidos, contribuindo para uma modificação mais efetiva da zona superficial e para a redução dos parâmetros associados ao transporte de água. Em cura selada, por outro lado, a restrição hídrica parece ter limitado esse potencial de atuação, o que é coerente com a ausência de melhoria relevante nos ensaios físicos. Ressalta-se, contudo, que os resultados deste ensaio possuem caráter descritivo, uma vez que foi utilizado um corpo de prova por categoria, não sendo possível estabelecer inferências estatísticas a partir desses dados.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que os tratamentos à base de silicato de etila TS28 e TS40 apresentam comportamentos distintos quando aplicados sobre pastas de cimento, com respostas dependentes tanto da formulação quanto da condição de cura subsequente. O TS40 destacou-se por apresentar maior teor de sólidos e maior fração não volátil, refletida em resíduo mais elevado nas curvas de TG, além de comportamento compatível com maior potencial de atuação na zona superficial.

As análises de DRX, FRX e TG/DTG indicaram alterações na evolução das fases hidratadas e nos parâmetros térmicos do sistema cimentício, cuja interpretação deve ser realizada de forma integrada e com cautela, em razão da heterogeneidade superficial e da ausência de replicatas em parte dos ensaios físicos. Do ponto de vista das propriedades associadas ao transporte, em cura selada não se observaram melhorias expressivas em relação à condição de referência. Em contrapartida, em cura úmida, o TS40 apresentou a resposta mais favorável, com redução de porosidade aparente e de absorção, indicando melhor desempenho global nessa condição. Esses resultados são coerentes com a maior disponibilidade hídrica para a progressão das reações associadas ao tratamento na zona superficial.

Assim, a efetividade do tratamento de superfície com silicato de etila mostrou-se dependente da combinação entre a natureza do produto e a disponibilidade hídrica após sua aplicação. Entre as condições avaliadas, o uso do TS40 sob cura úmida mostrou-se o cenário mais promissor para a redução dos parâmetros físicos associados ao transporte de água na matriz cimentícia.

À luz do objetivo proposto, conclui-se que ele foi satisfatoriamente atendido, uma vez que os resultados permitiram distinguir o efeito do tipo de silicato de etila e da condição de cura sobre a evolução das fases hidratadas e sobre os parâmetros físicos associados ao transporte de água nas pastas de cimento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Ponta Grossa, em especial ao Programa Voluntário de Iniciação Científica (PROVIC), ao Laboratório de Materiais de Construção e ao Complexo de Laboratórios Multiusuários (C-labmu). Os autores também agradecem à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Doutorado e às empresas Itambé e Datiquim pela doação dos produtos para uso nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BARBERENA-FERNÁNDEZ, A. M.; CARMONA-QUIROGA, P. M.; BLANCO-VARELA, M. T. **Interaction of TEOS with cementitious materials: Chemical and physical effects.** Cement and Concrete Composites, v. 55, p. 145–152, 1 jan. 2015.

CAI, Yamei *et al.* **The use of tetraethyl orthosilicate silane (TEOS) for surface-treatment of hardened cement-based materials: A comparison study with normal treatment agents.** Construction and Building Materials, v. 117, p. 144–151, ago. 2016.

DATIQUIM. **Silicato - Siliethyl TS28**. Disponível em: <https://www.datiquim.com.br/produtos/silicatos/siliethyl-ts28>. Acesso em: 3 fev. 2025.

FRANZONI, Elisa; PIGINO, Barbara; PISTOLESI, Carlo. **Ethyl silicate for surface protection of concrete: Performance in comparison with other inorganic surface treatments.** Cement and Concrete Composites, v. 44, p. 69–76, 1 nov. 2013.

HERGRAND DO BRASIL LTDA. **Catálogo técnico Siliethyl TS28 e Siliethyl TS40**. São Paulo: Hergrand do Brasil Ltda, *[S.d.]*.

HOPPE FILHO, Juarez *et al.* **Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte II): Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (IAP), difração de raios-X (DRX) e termogravimetria (TG/DtG).** Matéria (Rio de Janeiro), v. 22, p. e11873, 2017.

ITAMBÉ. **Relatórios de Ensaio.** Brasil: *[S.n.]*. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/assessoria-tecnica/relatorios-de-ensaio/?pro=371>. Acesso em: 17 jul. 2025.

LANGARO, E. A. **Estudo de diagnóstico e inibição da reação álcali-sílica utilizando cinza volante e proteção de superfície com silicatos.** Tese (Doutorado)—Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2023.

MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, P. **Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption.** Construction and Building Materials, v. 23, n. 3, p. 1476–1484, 1 mar. 2009.

PAN, Xiaoying *et al.* A **review on surface treatment for concrete – Part 2: Performance.** Construction and Building Materials, v. 133, p. 81–90, 15 fev. 2017.

PIGINO, Barbara *et al.* **Ethyl silicate for surface treatment of concrete – Part II: Characteristics and performance.** Cement and Concrete Composites, v. 34, n. 3, p. 313–321, 1 mar. 2012.

SANDROLINI, Franco; FRANZONI, Elisa; PIGINO, Barbara. **Ethyl silicate for surface treatment of concrete – Part I: Pozzolanic effect of ethyl silicate.** Cement and Concrete Composites, v. 34, n. 3, p. 306–312, 1 mar. 2012.

CAPÍTULO 28 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/x0csrd56
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/jkw0hz39

IDENTIFICAÇÃO DA COMPOSIÇÃO, RECONSTITUIÇÃO DE TRAÇO E CARACTERIZAÇÃO DE CAMADAS EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA EM EDIFÍCIOS HISTÓRICOS

Sthefanny Ferreira[1], Cintia Kerian[1]; Evandro Júnior[1] e Luciana Queiroz[1]
Autor de contato: sthefannyf86@gmail.com

[1] Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil

RESUMO

Este estudo investiga a composição, a microestrutura e a reconstituição de traço de argamassas de revestimento em edificação hospitalar histórica, visando subsidiar intervenções compatíveis em processos de conservação. A substituição inadequada de argamassas originais por materiais incompatíveis tem sido um dos principais fatores de degradação em edificações históricas, especialmente em climas úmidos. O objetivo deste trabalho é caracterizar as argamassas de revestimento e avaliar a aplicabilidade do método CIENTEC na reconstituição de traço. A metodologia envolveu coleta de amostras em fachadas distintas, análise estratigráfica, microscopia óptica, análise granulométrica após ataque ácido e reconstituição de traço. Os resultados indicaram a presença predominante de agregados finos (areia e saibro), elevada porosidade e distribuição granulométrica contínua, além da identificação de camadas distintas (chapisco e emboço). A reconstituição de traço indicou proporção média de 1:3 (aglomerante:agregado), porém com limitações associadas ao método de dissolução química, que pode introduzir incertezas na quantificação do ligante. Como contribuição, o estudo discute a aplicabilidade e as limitações do método de reconstituição, fornecendo subsídios técnicos para o desenvolvimento de argamassas compatíveis para conservação de edificações históricas.

Palavras-chave: argamassa histórica; conservação de edificações; caracterização de materiais; reconstituição de traço.

ABSTRACT

This study investigates the composition, microstructure, and mix design reconstruction of rendering mortars in a historic hospital building, aiming to support compatible conservation interventions. The inappropriate replacement of original mortars with incompatible materials has been one of the main causes of degradation in historic buildings, particularly in humid climates. The objective of this study is to characterize the rendering mortars and evaluate the applicability of the CIENTEC method for mix design reconstruction. The methodology included sample collection from different façade orientations, stratigraphic analysis, optical microscopy, granulometric analysis after acid attack, and mix reconstruction procedures. The results indicated a predominance of fine aggregates (sand and lateritic soil), high porosity, and continuous particle size distribution, as well as the identification of distinct layers (roughcast and plaster). The reconstructed mix proportion was approximately 1:3 (binder:aggregate); however, limitations associated with the chemical dissolution method may introduce uncertainties in binder quantification. As a contribution, this study discusses the applicability and limitations of the reconstruction method, providing technical support for the development of compatible mortars for the conservation of historic buildings.

Keywords: historical mortar; building conservation; material characterization; mix design reconstruction.

1. INTRODUÇÃO

As edificações históricas possuem importante valor ao patrimônio histórico e cultural, sendo imprescindível o emprego da conservação da história contada através das construções. A compreensão dessas edificações leva consequentemente ao conhecimento dos materiais aplicados durante décadas e séculos passados. Tempos e lugares de construções apresentam processos distintos, costumes socioculturais diversos, materiais e métodos construtivos diferentes, assim as antigas edificações fazem parte de todo um contexto do processo histórico individual de um local (SANTOS, 2020).

Em diversas regiões, os métodos construtivos das edificações possuem variações, além disso, a constituição desses materiais passa por modificações ao longo dos anos (MENEZES, 2020). Atualmente, a preocupação sucessiva em reabilitar os edifícios tem levado a tomada de decisões indevidas e, geralmente resultando na remoção de argamassas antigas, com perda do seu valor, tanto técnico como estético, entre outros, e na sua substituição por argamassas incompatíveis, elevando o custo de manutenção.

A manutenção e restauração de edifícios históricos é uma questão imprescindível para conservação do patrimônio histórico, perdurando a materialidade das fontes históricas através das construções (MENDES ET AL., 2023). Portanto, o desempenho do revestimento é fundamental para obter parâmetros da reconstituição e processo construtivo dessas edificações históricas, visando uma durabilidade maior e reduzindo os custos de manutenção.

É comumente que essa intervenção não obedece aos requisitos fundamentais de compatibilidade física e química com o substrato, propiciando muitas vezes um dano maior, discutida por Mendes et al. (2023) provaram que o uso de materiais incompatíveis altera o transporte de vapor e acelera a cristalização de sais. À vista disso, pesquisas recentes têm como objetivo o uso de materiais compatíveis com substratos originais, a análise laboratorial da composição dos materiais e seu desempenho em um sistema de fachada é imprescindível para a compatibilização dos materiais de recuperação e restauro.

Há diferentes métodos para reconstituir traços, os resultados podem ser mais ou menos precisos. Conforme Piazza (2014), deve ser entendido por reconstituição de traço de uma argamassa, o processo de identificação com alguma precisão, a quantidade de aglomerante e agregado empregado da reconstituição.

Apesar dos avanços nas técnicas de caracterização, a reconstituição de traço de argamassas históricas ainda apresenta limitações significativas, especialmente em função da dissolução parcial de fases durante o ataque químico, da presença de materiais finos aderidos e da dificuldade de distinção entre ligante e frações muito finas do agregado. Essas limitações introduzem incertezas que precisam ser discutidas na interpretação dos resultados.

Neste sentido, o Hospital Universitário João de Barros Barreto (HUJBB) exemplifica essa riqueza técnica, possuindo um revestimento com a presença de saibro em sua composição, onde a trabalhabilidade e o desempenho das argamassas históricas eram habilitados pelo conhecimento empírico dos artífices. A necessidade de realizar manutenções garantindo a vida útil das edificações procede na importância de conhecer as propriedades físicas e mecânicas no seu comportamento através da reconstituição de traço e caracterização (MENEZES, 2020). O objetivo é obter um material que, sendo tratado superficialmente por lavagem ou ataque ácido, permita a obtenção de uma argamassa com a mesma porosidade e, consequentemente, o mesmo aspecto visual.

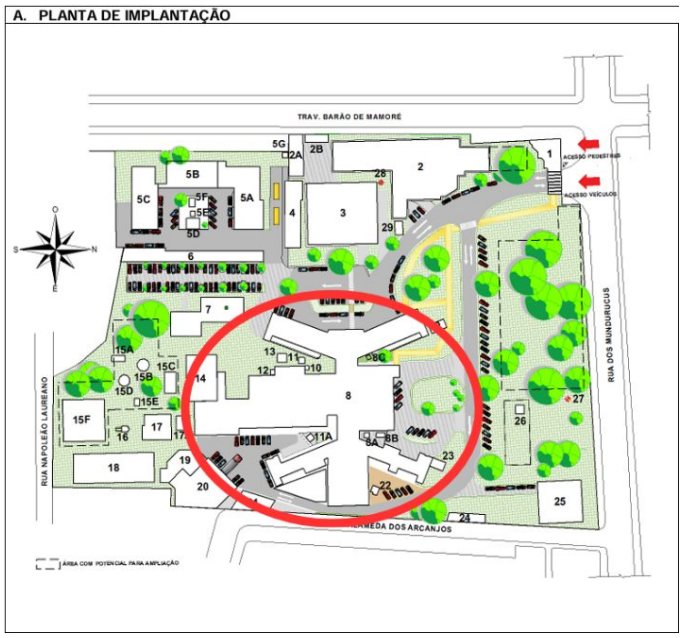
O presente trabalho tem como objetivo caracterizar as argamassas do revestimento do prédio hospitalar universitário João de Barros Barreto através das seguintes etapas: identificação estratigráfica das camadas de revestimento, análise granulométrica dos agregados, reconstituição de traço e microscopia óptica. Contribuindo para o conhecimento de argamassas históricas em relação a sua composição e estado de conservação.

2. METODOLOGIA

2.1 Objeto de estudo

O terreno destinado à construção do hospital universitário João de Barros Barreto foi adquirido pelo governo do Pará em 1895, com o objetivo inicial de implantar uma unidade de isolamento, conforme projeto da gestão de Lauro Sodré. A edificação foi inaugurada em 1900, inicialmente dedicada ao tratamento de doenças infecciosas, e posteriormente ampliada com a construção de outras unidades assistenciais. Entre as décadas de 1930 e 1960, o conjunto foi reconfigurado como Sanatório de Belém, integrando o plano nacional de combate à tuberculose. Nesse período, a instituição passou a se chamar Hospital Universitário João de Barros Barreto, em homenagem ao médico sanitarista responsável por importantes reformas na saúde pública brasileira (LEAL; MIRANDA, 2020). A Figura 1 apresenta a planta de implantação do prédio do hospital.

Figura 1 – Planta de implantação



Fonte: Acervo da Prefeitura Universitária da UFPA.

Do ponto de vista construtivo, o edifício apresenta características típicas da arquitetura sanatorial modernista, com soluções voltadas ao higienismo e ao conforto ambiental. A estrutura em concreto armado possibilitou a adoção de grandes vãos, pé-direito elevado e organização em blocos pavilhonares. As fachadas incorporam elementos como varandas abertas, brise-soleils, paredes vazadas e esquadrias amplas, favorecendo ventilação cruzada e iluminação natural, estratégias fundamentais para o controle de doenças respiratórias à época. Além disso, o uso de elementos vazados (cobogós), venezianas e aberturas contínuas contribui para o desempenho higrotérmico da edificação, permitindo a circulação do ar e a incidência solar como agentes naturais de salubridade.

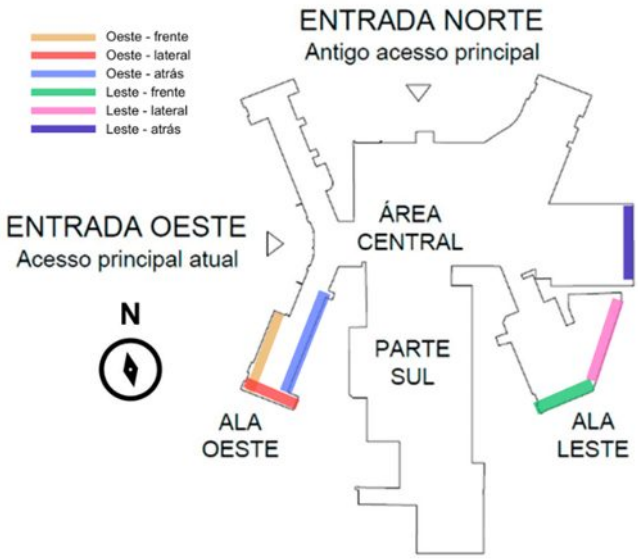
Esses aspectos, aliados ao uso predominante de alvenaria revestida com argamassa de cimento, areia e saibro, refletem a transição tecnológica e construtiva do período, marcada pela incorporação do concreto armado e pela adaptação às condições climáticas locais.

A mudança de nome da instituição acompanhou essa transição de perfil assistencial e a sua posterior integração à Universidade Federal do Pará (UFPA). O hospital deixou de ser apenas uma unidade de internação de longa permanência (sanatório) para se tornar um centro de referência em ensino, pesquisa e extensão. Desde outubro de 2015, o HUJBB integra a rede da Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (EBSERH), que atua na gestão de 40 hospitais universitários federais.

2.2 Coleta de Amostras

As amostras de argamassa foram coletadas nas fachadas das alas Leste e Oeste da edificação, priorizando regiões com maior grau de exposição às ações intempéricas, tais como incidência direta de chuva, radiação solar e variações higrotérmicas. A seleção desses pontos teve como objetivo garantir a representatividade das condições mais severas de degradação do revestimento. A localização dos pontos amostrais está apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Áreas das amostras coletadas.



Fonte: Acervo da Prefeitura Universitária da UFPA, adaptado.

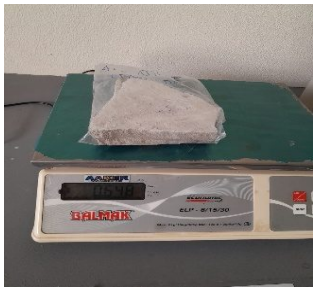
A extração das amostras foi realizada manualmente, utilizando ferramentas de impacto leve, como talhadeira e martelo, de modo a preservar a integridade das camadas adjacentes e evitar a introdução de danos adicionais ao revestimento. As coletas foram distribuídas entre as fachadas das alas Leste e Oeste, contemplando diferentes orientações e condições de exposição ambiental.

As amostras foram retiradas a uma altura aproximada de 2,0 m em relação ao nível do piso acabado, buscando padronizar as condições de coleta e minimizar interferências associadas a respingos de água e acúmulo de sujidades próximas à base da edificação. Durante o procedimento, adotaram-se cuidados para garantir a remoção representativa das camadas de revestimento, preservando, sempre que possível, sua estratigrafia original. A Figura 3 apresenta as etapas da coleta de amostras.

Figura 3 – Etapa de coleta das amostras.


(a) Coleta.


(b) Armazenamento.


(c) Pesagem.

Por fim, os materiais coletados foram armazenados em recipientes plásticos, limpos e colocados na estufa para processo de secagem e identificados individualmente. Como parte da observação visual, as amostras foram fotografadas, mostrando seções importantes para análise quanto a cor, textura e presença de umidade.

2.2 Análise de microscopia óptica

A microscopia óptica atua de forma contribuinte à reconstituição de traço pelo Método CIENTEC, permitindo a observação *in situ* da estrutura microscópica, validando a composição mineralógica do agregado e a aglomerante, fundamentais para a compreensão do processo de execução (SILVA et al., 2009). Foi utilizado o Microscópio digital portátil *Digital Microscope* (*Electronic Magnifier*), com dimensões aproximadas de 15 cm de altura, base com cerca de 9 cm de diâmetro e corpo cilíndrico de aproximadamente 11 cm de comprimento com magnificação de 1000x, utilizado para ensaios de microscopia óptica.

2.3 Preparação das amostras

Após a coleta, as amostras de argamassa foram encaminhadas ao laboratório para a realização das etapas de preparação e caracterização. Os procedimentos adotados foram baseados em metodologias consolidadas na literatura para análise de materiais cimentícios históricos.

Inicialmente, as amostras foram submetidas à secagem em estufa a (105 ± 5) °C por um período de 24 horas, visando a remoção da umidade livre. Em seguida, foi realizada a pesagem e as amostras foram novamente mantidas em estufa por um período adicional de 2 horas, a fim de verificar a estabilização da massa e garantir a condição de massa constante. Após a secagem, as amostras foram desagregadas de forma manual e controlada, utilizando almofariz e pistilo de porcelana, com o objetivo de preservar, tanto quanto possível, as características granulométricas originais dos constituintes.

Para a separação das fases constituintes, foram realizadas operações laboratoriais que incluíram:

- Ataque químico da amostra por meio de reagente ácido em solução aquosa, visando à solubilização do ligante;
- Filtração da fração insolúvel, seguida de secagem e determinação de massa;
- Determinação da fração volátil por meio de aquecimento em temperatura controlada.

Posteriormente, a fração sólida remanescente foi submetida à análise granulométrica por peneiramento a seco, conforme os procedimentos estabelecidos na NBR 7181 (ABNT, 2025),

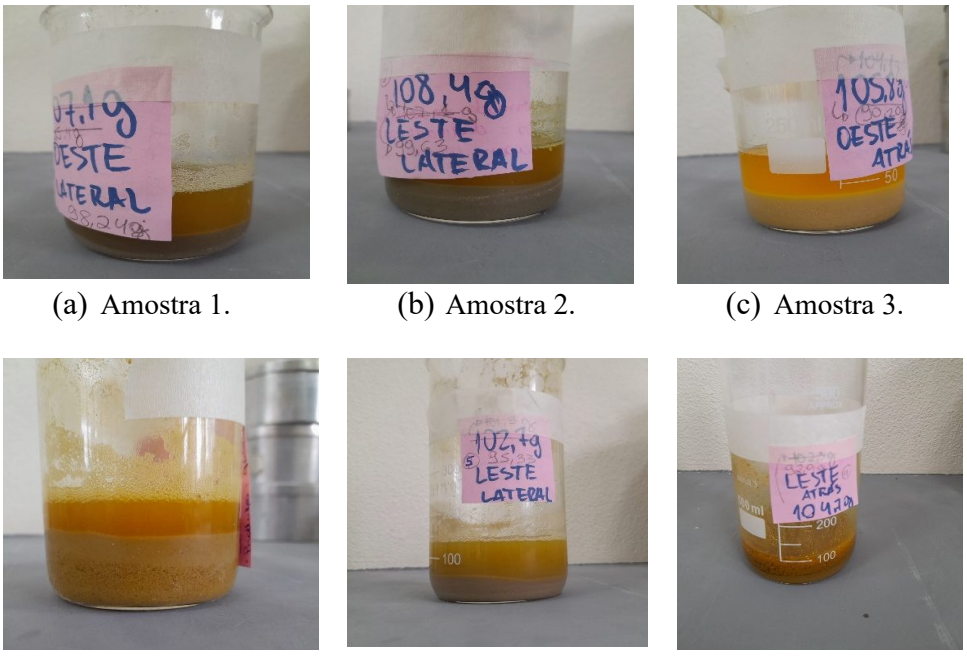
permitindo a determinação da distribuição de tamanho de partículas dos agregados presentes na argamassa.

2.4. RECONSTITUIÇÃO DO TRAÇO

Para a reconstituição do traço foi utilizada a metodologia desenvolvida na Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (CIENTEC). As amostras foram secas à 150º C por 24 horas, pesadas e logo após colocadas novamente na estufa para confirmar se não houve perda de peso, posteriormente foi cominuída, realizado a pesagem e separada 50 g para, por fim, foi realizado o ataque químico em solução de ácido clorídrico (HCl) P.A, sendo preparada uma solução de 300ml de água destilada (3:1 em volume).

A solução foi acrescentada progressivamente até que não houvesse mais liberação de gás (formação de bolhas) e identificado o consumo total do ligante. Após o ataque químico, foram realizadas lavagens e filtragens de forma a eliminar por completo o ácido, por fim, se procedeu a secagem a 150º C, cálculo da reconstituição do traço e curvas granulométricas dos agregados. A Figura 4 apresenta as amostras após o processo de ataque químico.

Figura 4 – Ataque químico das amostras.



(a) Amostra 1. (b) Amostra 2. (c) Amostra 3.

(d) Amostra 4. (e) Amostra 5. (f) Amostra 6.

Fonte: Autores

Os cálculos das porcentagens de finos, grossos e ligantes foram realizados da seguinte forma:

- Peso do agregado miúdo = (Peso do béquer + resíduo) - (Peso do béquer);
- % Aglomerante: 100 - (%agregado miúdo).

$$M_{aglomerante} = M_{inicial} - (M_{finos} + M_{agregados})$$

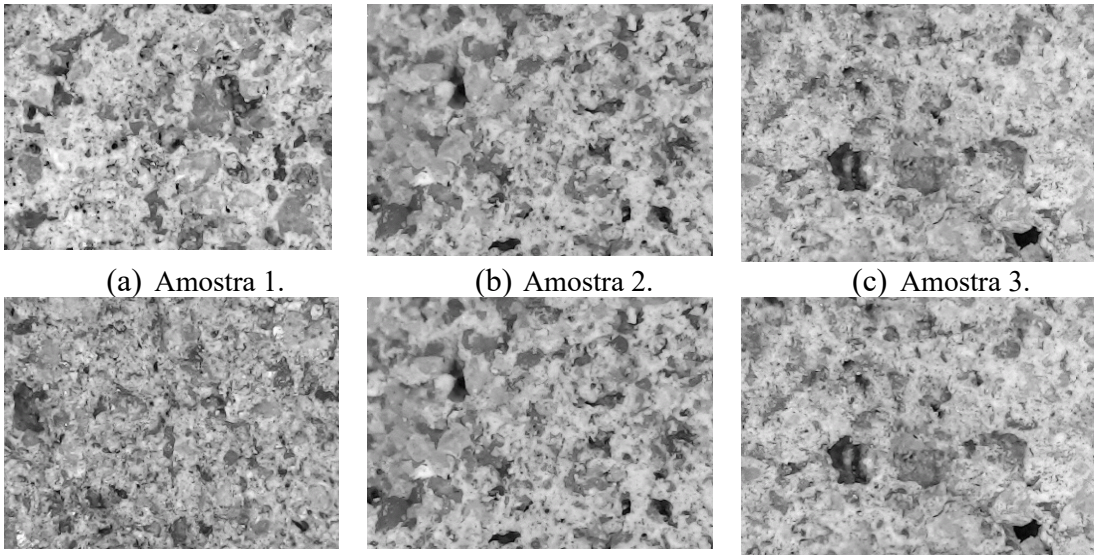
$$1{:}m \rightarrow 1{:}(M_{agl}+finos)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise microscópica

As análises por microscopia óptica (Figura 5) evidenciam uma matriz com elevada porosidade, característica recorrente em argamassas históricas que incorporam materiais finos de origem laterítica, como o saibro. Além da porosidade, se identificou a presença de agregados silicosos com variadas granulometrias e formas angulares, o que corrobora o uso de saibro na mistura. A ausência de fissuras significativas na matriz cimentícia indica uma boa coesão interna, apesar da idade centenária do revestimento.

Figura 5 – Análise microscópica



(a) Amostra 1. (b) Amostra 2. (c) Amostra 3.

(d) Amostra 4. (e) Amostra 5. (f) Amostra 6.

Fonte: Autores

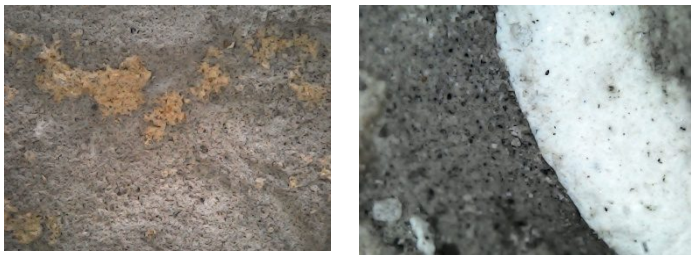
Do ponto de vista microestrutural, verificou-se uma distribuição heterogênea dos grãos de quartzo, associada à presença de vazios de morfologia predominantemente arredondada. Essa configuração sugere processos de mistura e aplicação manual, típicos de técnicas construtivas empregadas no período de transição entre argamassas predominantemente à base de cal e sistemas com incorporação de cimento Portland.

A elevada porosidade observada desempenha papel fundamental no comportamento higrotérmico do revestimento, favorecendo os mecanismos de transporte de umidade por difusão de vapor e evaporação. Esse aspecto é particularmente relevante em climas tropicais úmidos, pois contribui para a redução do risco de cristalização interna de sais e, consequentemente, para a mitigação de manifestações patológicas associadas à retenção de umidade. Resultados semelhantes são reportados por Gleize *et al.* (2009), que destacam que, embora a elevada porosidade esteja associada a menores resistências mecânicas, ela é determinante para a compatibilidade entre o revestimento e substratos de alvenaria cerâmica, evitando o desenvolvimento de tensões internas e processos de degradação decorrentes do aprisionamento de água.

Outra observação das seções analisadas permitiu identificar claramente a interface entre as camadas de chapisco e emboço (ver Figura 6), indicando um sistema de revestimento aplicado em múltiplas

etapas. A identificação de diferentes camadas estratigráficas com espessuras irregulares reforça a técnica de aplicação em múltiplas etapas para garantir a aderência ao substrato. Estudo sobre a textura de argamassas históricas demonstra que a morfologia dos agregados e a conectividade dos poros, observadas em escala microscópica, são os principais fatores que determinam a durabilidade do revestimento frente ao intemperismo em climas tropicais, validando a importância da caracterização microestrutural para futuras dosagens de argamassas de restauro.

Figura 6 – Diferentes camadas de revestimento.



(a) Amostra 3. (b) Amostra 4.

Fonte: Autores

3.2 Análise granulométrica

A Tabela 1 apresenta a análise granulométrica dos agregados constituintes das argamassas do HUJBB foi realizada com o objetivo de avaliar a distribuição de tamanho de partículas e inferir sua influência no comportamento físico do revestimento. Os ensaios foram conduzidos após o processo de ataque químico para remoção parcial do ligante, seguido de peneiramento a seco, permitindo a caracterização da fração sólida remanescente.

Tabela 1 – Distribuição granulométrica.

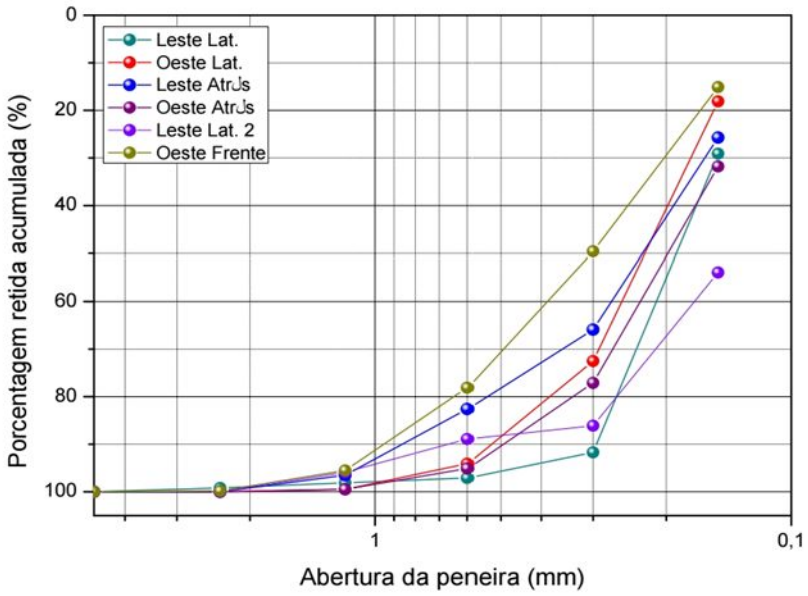
AMOSTRAS	LESTE LAT.		OESTE LAT.		LESTE ATRÁS		OESTE ATRÁS		LESTE LAT. 2		OESTE FRENTE	
Peneiras	Ret. (%)	Acum (%)	Ret. (%)	Acum (%)	Ret (%)	Acum (%)	Ret. (%)	Acum (%)	Ret. (%)	Acum (%)	Ret. (%)	Acum (%)
4,75 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,36 mm	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
1,18 mm	1,1	1,9	0,5	0,5	3,5	3,5	0,5	0,5	4,1	4,1	4,3	4,5
600 µm	1,0	2,9	5,4	5,4	13,9	17,4	4,4	4,9	7,0	11,1	17,4	21,9
300 µm	5,4	8,3	21,6	27,5	16,7	34,1	18,0	22,9	2,8	13,9	28,5	50,4
150 µm	62,6	70,9	54,4	81,9	40,2	74,3	45,3	68,2	32,2	46,1	34,5	84,9
Fundo	29,1	100	18,1	100	25,7	100	31,8	100	53,9	100	15,1	100
M.Finura		0,85		1,16		1,29		0,97		0,75		1,62
DMC (mm)		2,36		1,18		1,18		0,6		1,18		1,18

Fonte: Autores

Os resultados obtidos indicam a predominância de partículas finas, com elevada porcentagem de material passante na peneira de 0,150 mm. De modo geral, as amostras analisadas apresentam

distribuição granulométrica contínua, com concentrações mais expressivas nas frações finas, o que caracteriza o material como areia fina a muito fina.
A análise comparativa das curvas granulométricas (Gráfico 1) evidencia comportamento semelhante entre a maioria das amostras, especialmente nas regiões Leste lateral, Oeste lateral, Leste posterior e Oeste posterior, cujas curvas apresentam inclinação acentuada no intervalo entre as peneiras de 0,300 mm e 0,150 mm. Esse comportamento indica uma distribuição relativamente uniforme dos tamanhos de partículas, sugerindo um material mal graduado, com predominância de faixas granulométricas próximas.

Gráfico 1 – Curvas granulométricas das amostras.



Fonte: Autores

Por outro lado, a amostra proveniente da região Oeste frente apresenta comportamento distinto, com maior retenção nas peneiras intermediárias e módulo de finura mais elevado (1,62), indicando uma fração relativamente mais grossa em comparação às demais. Em contraste, a amostra da região Leste frente apresenta maior percentual de finos, com significativa passagem pela peneira de 0,150 mm, evidenciando uma granulometria mais refinada.

Do ponto de vista tecnológico, a predominância de frações finas e a baixa variabilidade granulométrica contribuem para o aumento da compacidade da matriz, porém também estão associadas a maior demanda de água e maior susceptibilidade à retração. Por outro lado, em argamassas históricas, essa característica pode ser compensada pela presença de materiais argilosos, como o saibro, que atuam na melhoria da trabalhabilidade e na retenção de água.

3.3 Reconstituição de traço

A Tabela 2 apresenta dos valores dos cálculos da reconstituição dos traços. A reconstrução dos traços permitiu uma análise que levou à conclusão de que a proporção volumétrica média entre as argamassas estudadas é de 1:3 (aglomerante: agregado). Esta proporção indica que, existe um esforço para alcançar a máxima consistência e reprodutibilidade das argamassas executadas.

Tabela 2 – Reconstituição dos traços.

AMOSTRAS	REGIÃO DE COLETA	TRAÇO
Amostra 1	Leste lateral	1:3,23
Amostra 2	Oeste lateral	1:4,40
Amostra 3	Leste atrás	1:3,32
Amostra 4	Oeste atrás	1:3,72
Amostra 5	Leste lateral 2	1:3,34
Amostra 6	Oeste frente	1:4,41

Fonte: Autores

A composição dos traços resulta em um preenchimento eficiente dos vazios, com a redução da retração hidráulico e das fissuras de secagem, que são fatores significativos para a conservação das fachadas nas condições climáticas de Belém.
Em conclusão, a determinação dos traços apoia seu processo sugerido de transição técnica consciente no Hospital Universitário João de Barros Barreto, mostra-se que a precisão encontrada por essa proporção é o parâmetro mais importante para o projeto de conservação (Quarcioni, 2005), pois é o valor que permite a geração de novas argamassas sem produzir incompatibilidades de materiais. Assim, quaisquer trabalhos de restauração futuros devem reproduzir essa porcentagem ao edifício como parte do agregado, com uma mistura ideal de 1:3 para proteger o edifício, de modo que sua compatibilidade físico-química e resposta higrotérmica possam ser preservadas.

4. CONCLUSÃO

As argamassas de revestimento do Hospital Universitário João de Barros Barreto (HUJBB) foram analisadas para obter um conhecimento mais profundo dos métodos de construção e manuseio de materiais dessa estrutura centenária em Belém. Por meio da introdução de análises microscópicas, granulométricas e de reconstituição, o revestimento formou uma série de camadas de chapisco e reboco, matriz de cimento, areia e saibro. A microestrutura, com sua alta porosidade, pode ser utilizada para as necessidades de troca higroscópica do edifício no clima úmido da região metropolitana de Belém.

Quanto aos agregados, os testes mostraram uma preponderância de materiais finos, variando de areias finas a muito finas e em grande parte mal graduadas. O saibro local mostrou ser uma estratégia técnica chave da época que atuava como material para proporcionar a plasticidade necessária à mistura, compensando o caráter granulado fino dos agregados silicosos. Os dados também, além do método CIENTEC traçando a recuperação e os critérios determinaram a proporção volumétrica média de 1:3 (aglomerante: agregado) no gráfico. O traço apresenta uma mudança técnica deliberada em direção ao cimento como uma abordagem que equilibra resistência mecânica com durabilidade para intempéries locais, enquanto ainda mantém a flexibilidade do conjunto.

Portanto, essas descobertas representam um parâmetro técnico essencial para futuras medidas de conservação e manutenção no hospital. Identificar precisamente a dosagem 1:3 é a característica

mais crítica para garantir que quaisquer argamassas de reparo sejam fisicamente e quimicamente equivalentes ao substrato sendo restaurado, prevenindo manifestações patológicas comumente ocorrentes de materiais atuais inconsistentes. Portanto, o estudo confirma que a argamassa do HUJBB não só possui sua própria identidade técnica, enquanto traz o conhecimento empírico regional com a modernização tecnológica do início do século 20, como sua preservação é de vital importância para a integridade histórica e estrutural do monumento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

GLEIZE, P. J. P. et al. Characterization of historical mortars from Santa Catarina's Island forts - Brazil. **Cement and Concrete Composites**, v. 31, n. 1, p. 45-51, 2009.

JUSTINO, M. et al. Metodologias para reconstrução do traço de argamassas de edificações antigas: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 13, n. 89, 2025. DOI: 10.17271/23188472138920256154.

MARAVELAKI-KALAITZAKI, P. *et al*. Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 8, p. 1577-1586, 2005.

MENDES, T. M.; MEDEIROS, M. **Argamassas de restauração para revestimento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 15., 2023, Balneário Camboriú. Anais [...]. Balneário Camboriú: ANTAC, 2023.

MENEZES, G. L. **Caracterização das argamassas de revestimento históricas existentes na Usina Ilha Bela, localizada no município de Ceará Mirim, RN.** 2020. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

PIAZZA, F. A. **Técnicas aplicáveis a trabalhos de restauração de prédios de interesse histórico e cultural**. Brasília: IPHAN, 2014.

QUARCIONI, V. A. **Reconstituição de traço de argamassa: atualização do método IPT**. 2005. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SANTOS, L. S. **Caracterização das argamassas históricas do Centro de Tradições do município de Laranjeiras/SE**. 2020. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em

Engenharia Civil) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.

SILVA, D. A. *et al*. Microstructural and mineralogical analysis of historical mortars from Santa Catarina (Brazil). **Materials Research**, v. 12, n. 2, p. 233-238, 2009.

CAPÍTULO 29 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/e8erfr50
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/fmdjxt87

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMAS DE FACHADA DE ALVENARIA ESTRUTURAL: IMPACTO DO PROCESSO EXECUTIVO E DO CONTROLE DE QUALIDADE

Sérgio Augusto Andreolli Pohlmann[1], Luciani Somensi Lorenzi[2]*; Lucas Alexandre Reginato[2]; Alexandre Lorenzi[2]
*Autor de contato: luciani.lorenzi@ufrgs.br

[1] Departamento de Engenharia Civil (DECIV), Laboratório de Ensaios e Modelos Experimentais (LEME), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil
[2] Instituto de Desempenho da UFRGS, Laboratório de Ensaios e Modelos Experimentais (LEME), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

O presente estudo investiga manifestações patológicas recorrentes em vedações verticais externas de edifícios em alvenaria estrutural com revestimento argamassado, relacionando o processo executivo, o controle de qualidade e os custos de assistência técnica pós-obra. Com base na revisão técnico-normativa e no mapeamento das etapas críticas do revestimento de fachada, sistematizam-se as principais ocorrências no substrato e na argamassa: fissuras (verticais, inclinadas e por retração), desplacamentos, manchamentos e eflorescências, discutindo-se os mecanismos prováveis e os fatores de risco. Em seguida, elabora-se uma matriz de correlação entre as patologias e as etapas de execução (verificações preliminares, produção e armazenamento de materiais, preparação da base, chapisco, emboço e acabamento), destacando os pontos de controle preventivo. Por fim, discutem-se componentes típicos de custo de reabilitação e interrupções operacionais com base no SINAPI (nov./2024), o que indica que investimentos iniciais em planejamento e controle reduzem reincidências e custos ao longo do ciclo de vida.
Palavras-chave: manifestações patológicas; alvenaria estrutural; revestimento de argamassa; controle de qualidade.

ABSTRACT

The present study investigates recurrent pathological manifestations in external vertical enclosure systems of structural masonry buildings with mortar-based façade render, examining the interplay between execution practices, quality control, and post-occupancy technical assistance costs. Grounded in a technical and standards-oriented review and in the mapping of critical façade-rendering stages, the work systematizes the main defects observed in the masonry substrate and in the render layer, namely, cracking (vertical, diagonal, and shrinkage-related), debonding/delamination, staining, and efflorescence—discussing plausible mechanisms and associated risk factors. A correlation matrix is then developed linking defects to execution stages (preliminary checks, material production/storage, substrate preparation, bonding coat, base coat, and finishing), highlighting preventive quality-control checkpoints. Finally, typical rehabilitation cost components and operational disruption impacts are discussed based on SINAPI compositions (Nov. 2024), indicating that early investments in planning and process control at critical stages reduce recurrence and life-cycle costs.
Keywords: pathological manifestations; structural masonry; mortar rendering; quality control.

1. INTRODUÇÃO

Edificações em alvenaria estrutural com revestimento argamassado de fachada são amplamente utilizadas no Brasil em razão de sua racionalização construtiva, produtividade e competitividade econômica. Apesar dessas vantagens, trata-se de um sistema fortemente condicionado pela qualidade da execução e pelas condições de exposição durante a obra, o que amplia a variabilidade de desempenho e favorece o surgimento de manifestações patológicas. Em fachadas, essas ocorrências assumem maior relevância, pois afetam simultaneamente requisitos de estanqueidade, segurança, em especial quanto ao risco de desprendimento, e durabilidade, além de repercutirem diretamente na percepção de qualidade do usuário e na imagem da construtora.

Nesse contexto, o estudo das manifestações patológicas ao longo do processo construtivo e de seus reflexos sobre os custos operacionais e institucionais das empresas constitui um tema estratégico para a melhoria contínua do setor. O presente trabalho tem por objetivo analisar falhas recorrentes em sistemas de fachada compostos por alvenaria estrutural com revestimento argamassado, buscando identificar as etapas críticas do processo executivo nas quais tais falhas tendem a se originar. A ênfase recai sobre o revestimento argamassado, uma vez que disfunções técnicas associadas ao substrato e à interface base-revestimento podem se propagar às camadas superficiais, comprometendo a durabilidade, a estética e o desempenho funcional do sistema de vedação. O processo executivo da alvenaria estrutural, embora reconhecidamente relevante, não constitui o foco específico desta análise.

A avaliação dos custos associados às falhas construtivas constitui, por sua vez, um elemento essencial para a tomada de decisão nas construtoras, especialmente quanto à adoção de melhorias nos procedimentos executivos. Para além dos dispêndios diretos com intervenções corretivas no período pós-obra, tais manifestações impactam negativamente a satisfação do cliente, a confiabilidade técnica do empreendimento e a reputação corporativa. Em empreendimentos de padrão econômico, em que as margens de lucro são mais restritas, torna-se ainda mais importante estabelecer a relação entre os investimentos realizados em controle de qualidade durante a execução e os custos futuros decorrentes da assistência técnica.

Diante disso, torna-se fundamental compreender de que modo as etapas do processo executivo e os procedimentos de controle influenciam a incidência de manifestações patológicas, bem como discutir sua repercussão econômica no contexto da pós-obra. Este artigo busca sistematizar as principais manifestações patológicas em sistemas de vedação vertical externa em alvenaria estrutural com revestimento argamassado, correlacionando-as às etapas executivas previstas em normas e recomendações técnicas e discutindo componentes típicos de custo de reabilitação com base nas composições do SINAPI de novembro de 2024.

Para isso, a análise foi estruturada em três eixos: movimentações e deformações da base; qualidade da interface base-revestimento; e ação da umidade. Essa chave de leitura permite integrar a literatura, os requisitos normativos, as observações práticas e as implicações para o controle de qualidade.

A partir dessa abordagem, busca-se contribuir para o aperfeiçoamento dos processos executivos e para a priorização de ações preventivas em obra. Mais do que listar manifestações patológicas, interessa compreender em que etapa elas tendem a ser geradas, por que se tornam recorrentes e como sua prevenção pode reduzir perdas ao longo do ciclo de vida da edificação.

Dessa forma, o presente trabalho propõe uma abordagem técnico-econômica fundamentada, com vistas a contribuir para o aperfeiçoamento dos processos construtivos aplicados a fachadas com sistemas de vedação em alvenaria estrutural. A ocorrência de falhas nesse contexto compromete não apenas o desempenho das edificações, mas também os resultados operacionais das empresas responsáveis por sua execução. A prevenção e o controle dessas não conformidades são fundamentais para assegurar a longevidade das construções e otimizar a relação custo-benefício ao longo de seu ciclo de vida. Compreender os custos envolvidos em intervenções corretivas, em contraste com os investimentos necessários à adoção de boas práticas construtivas, permite fundamentar tecnicamente a revisão de processos executivos e a adoção de padrões de qualidade mais elevados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A alvenaria estrutural tem sido amplamente utilizada no setor da construção civil devido à sua viabilidade técnica, à racionalização de processos e ao custo reduzido, especialmente em empreendimentos de habitação de interesse social. No entanto, como qualquer sistema construtivo, está sujeito a manifestações patológicas (MP) que comprometem seu desempenho, durabilidade e segurança.

Segundo Mohamad (2020), o estudo de MP nos métodos construtivos tem se consolidado como uma nova área da engenharia das construções, voltada à identificação, à análise e à prevenção de MP recorrentes nos sistemas executivos. Essa abordagem tem como objetivo desenvolver métodos preventivos que mitiguem a ocorrência de anomalias, contribuindo para a melhoria da qualidade e da durabilidade das edificações. A seleção adequada de materiais e técnicas construtivas é um fator determinante para a eficácia do sistema. Para garantir resultados satisfatórios, é fundamental realizar a avaliação prévia do desempenho dos insumos e métodos empregados, com base em dados técnicos e em experiências anteriores documentadas.

Tal perspectiva evidencia a relevância de decisões técnicas baseadas em evidências, reforçando a necessidade de critérios rigorosos tanto na escolha dos materiais quanto no planejamento e no controle das etapas executivas. Almeida et al. (2015) afirmam que as MP mais recorrentes em sistemas de alvenaria estrutural incluem fissuras, destacamentos de revestimento, infiltrações e recalques diferenciais. Essas ocorrências podem ter origem tanto em erros de projeto (como detalhamento insuficiente de juntas ou fundações incompatíveis com o solo) quanto na execução (como cura inadequada de argamassa, ausência de juntas de movimentação ou aplicação incorreta de revestimentos).

Barros e Ventura (2019) reforçam que o comportamento higrotérmico da alvenaria também influencia diretamente o surgimento de MP, pois variações de temperatura e umidade geram tensões internas que, sem o devido controle, resultam em fissuração ou deslocamento de componentes. Em ambientes externos, esses efeitos são potencializados pela exposição às intempéries.

Outro fator relevante é apontado por Souza e Ripper (1998), que identificam a ausência de controle tecnológico como um dos principais fatores para o surgimento de MP construtivas em sistemas de vedação. O uso de materiais não compatíveis, a má qualidade da mão de obra e a negligência nos ensaios de desempenho são aspectos recorrentes em obras com esse tipo de anomalia.

De acordo com Melo e Ferreira (2020), o planejamento preventivo, aliado ao uso de boas práticas executivas, pode reduzir significativamente os índices de MP na alvenaria estrutural. Isso inclui a adoção de sistemas de juntas verticais e horizontais adequados, inspeções regulares durante a execução e o emprego de materiais com desempenho comprovado.

A Norma Brasileira ABNT NBR 15575 — Edificações Habitacionais – Desempenho — também estabelece critérios técnicos mínimos para garantir a funcionalidade, a segurança e a durabilidade dos elementos construtivos, incluindo os sistemas de vedação vertical. A não observância desses parâmetros compromete a integridade da edificação e pode gerar elevados custos com manutenções corretivas.

Dessa forma, a literatura técnica converge ao apontar que a redução de MP em alvenaria estrutural depende diretamente da integração entre projeto adequado, escolha criteriosa dos materiais, capacitação da mão de obra e controle de qualidade nas etapas críticas do processo construtivo.

3. PROCESSO DE EXECUÇÃO REVESTIMENTO ARGAMASSADO

O processo de execução do revestimento argamassado em superfícies verticais, incluindo fachadas, envolve um conjunto de etapas interdependentes que devem ser rigorosamente seguidas para garantir o desempenho, a durabilidade e a qualidade do sistema, bem como prevenir manifestações patológicas ao longo da vida útil da edificação. A norma NBR 7200 (ABNT, 1998) estabelece diretrizes técnicas para a execução desse tipo de revestimento.

Antes do início da execução do revestimento, deve-se verificar a adequação das condições de infraestrutura e dos equipamentos disponíveis, conforme estabelece a NBR 7200 (ABNT, 1998). Essa etapa inclui a conferência das ferramentas utilizadas, das condições ergonômicas de trabalho, da necessidade de plataformas e andaimes, bem como da instalação correta dos equipamentos indispensáveis à execução do serviço.

Todos os equipamentos devem ser devidamente limpos após o uso, a fim de evitar sua deterioração e possíveis interferências na qualidade dos serviços subsequentes. Quando a argamassa é produzida em obra, torna-se necessária a implantação de uma central de produção adequada, devidamente sinalizada e equipada com misturador mecânico, compartimentos apropriados para o armazenamento de materiais, ponto de água canalizada, peneiras para agregados e dispositivos de medição compatíveis com o traço especificado no projeto. A dosagem volumétrica é amplamente utilizada, considerando que um saco de cimento de 50 kg corresponde, aproximadamente, a 36 litros, NBR 7200 (ABNT, 1998).

A conferência dos serviços preliminares constitui uma etapa fundamental para a liberação da execução do revestimento. De acordo com a NBR 7200 (ABNT, 1998), todos os vãos, caixas de passagem e elementos embutidos devem estar devidamente posicionados, regularizados e em conformidade com o projeto. Essa verificação é de responsabilidade do engenheiro responsável pela obra. A inadequada conferência dessa etapa pode resultar em retrabalhos, interrupções do serviço e impactos negativos no cronograma da obra, além de comprometer o desempenho do revestimento devido à execução posterior de arremates e correções localizadas.

O planejamento do cronograma de execução deve considerar a idade mínima dos elementos de base antes da aplicação do revestimento argamassado. Para alvenarias estruturais armadas e estruturas de concreto armado, recomenda-se um período mínimo de 28 dias; para alvenarias de vedação não estruturais, 14 dias. A aplicação do emboço sobre o chapisco deve ocorrer após, no mínimo, 3 dias, enquanto o reboco deve ser aplicado somente após 7 dias da execução do emboço.

A produção da argamassa deve seguir rigorosamente o traço especificado no projeto, com identificação visual clara na central de produção. O controle volumétrico dos materiais deve ser preciso, não sendo permitida a utilização de recipientes de volume variável como instrumentos de medição. Quando os agregados apresentarem umidade superior à prevista, deve-se ajustar a quantidade de água adicionada à mistura. No caso da mistura mecanizada, o tempo mínimo de mistura deve ser de 3 minutos, não ultrapassando 5 minutos. O tempo máximo de utilização da argamassa é de 2 horas e 30 minutos, reduzido para 1 hora e 30 minutos em temperaturas superiores a 30 °C, salvo quando aditivos retardadores de pega são utilizados.

As superfícies de base devem atender às tolerâncias de prumo estabelecidas pela NBR 15961 (ABNT, 2020), permitindo-se uma variação máxima de 0,3 mm por metro. Desvios superiores podem resultar em camadas de revestimento excessivamente espessas, aumentando os esforços cortantes e favorecendo o surgimento de patologias. A base deve apresentar grau de absorção compatível com o revestimento, conforme indicado pelo fabricante do substrato. Bases com elevada absorção devem ser previamente umedecidas para evitar a perda prematura de água da argamassa. Irregularidades, rebarbas, pontas metálicas e falhas devem ser corrigidas antes da aplicação do revestimento, utilizando-se argamassas com características semelhantes às do emboço (ABNT, 1998).

A execução adequada de detalhes construtivos, como arestas, juntas de dilatação, pingadeiras, vergas e contravergas, é essencial para o desempenho do revestimento de fachada. As juntas devem ser posteriormente tratadas com selantes elastoméricos, como poliuretano, que asseguram estanqueidade e acompanham as movimentações da estrutura (ABNT, 1998).

4 RELAÇÃO ENTRE AS ETAPAS DE EXECUÇÃO E AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

A articulação entre a literatura, as exigências normativas e a prática executiva mostra que as manifestações patológicas em fachadas não se distribuem aleatoriamente ao longo do processo. Ao contrário, elas se concentram em etapas em que falhas de controle tendem a ativar um ou mais dos três mecanismos predominantes do sistema: deformações não acomodadas, interface deficiente entre base e revestimento e presença persistente de umidade. Essa leitura permite substituir uma análise meramente descritiva por uma interpretação causal orientada à prevenção.

As MP observadas em revestimentos argamassados estão diretamente associadas a falhas em diferentes etapas do processo de execução. Erros relacionados ao armazenamento inadequado de materiais, à produção incorreta da argamassa, à preparação deficiente da base, à ausência de chapisco, ao mau planejamento do cronograma e à execução inadequada de detalhes construtivos podem resultar em diferentes MP, tais como fissuras, descolamentos, empolamentos, vesículas, eflorescências e manchamentos. A análise integrada dessas etapas evidencia a importância do controle tecnológico, do planejamento e da conformidade com as normas técnicas, especialmente

em edificações em alvenaria estrutural, nas quais as deformações da base podem ser transmitidas diretamente ao sistema de revestimento (MOHAMAD, 2020).

Na produção e no preparo da argamassa, os desvios de traço, a variação no teor de água, a contaminação ou o armazenamento inadequado dos materiais afetam simultaneamente a retração, a aderência e a durabilidade. Por isso, etapas aparentemente operacionais de canteiro tornam-se decisivas para o comportamento futuro do revestimento. Na prática, defeitos como fissuração mapeada, empolamento e descolamento frequentemente são a expressão tardia de uma variabilidade de produção não controlada na origem.

A preparação da base e a execução do chapisco constituem a transição mais crítica da interface base-revestimento. Substratos com poeira, umidade inadequada, baixa rugosidade, contaminação superficial ou absorção incompatível comprometem a ancoragem da camada subsequente. Quando esse problema é combinado com aplicação sem energia suficiente, espessuras inadequadas ou cura deficiente, aumentam os riscos de desplacamentos, som cavo, destacamentos em placas e perda localizada de desempenho.

A ação da umidade permeia todo o processo, mas seus efeitos se tornam mais evidentes quando o sistema apresenta fragilidades no detalhamento e na estanqueidade. Ausência de pingadeiras, selagem insuficiente de juntas, interfaces mal tratadas e drenagem deficiente favorecem o surgimento de eflorescências, vesículas e manchamentos. Assim, a umidade não deve ser tratada apenas como consequência, mas como agente que intensifica falhas pré-existentes de projeto, de execução e de manutenção.

Com base nessa estrutura analítica, as manifestações típicas foram correlacionadas às etapas com maior potencial de desencadeamento, conforme sintetizado na Tabela 1. Complementarmente, a Tabela 2 organiza os erros típicos por etapa e sua manifestação mais associada, permitindo transformar a visualização da MP em um instrumento de controle preventivo. Dessa forma, o diagnóstico deixa de ser apenas retrospectivo e passa a orientar a gestão da qualidade em obra.

O tempo útil da argamassa é de 2 horas e 30 minutos, reduzindo-se para 1 hora e 30 minutos quando a temperatura ambiente excede 30 °C, salvo o uso de aditivos retardadores de pega (ABNT, 1998). A preparação da superfície de base deve atender às tolerâncias de prumo da NBR 15961 (ABNT, 2020), admitindo-se um desvio máximo de 0,3 mm/m; irregularidades acima desse limite tendem a provocar espessuras excessivas do revestimento, elevando os esforços internos e o risco de fissuração. A base também deve apresentar absorção compatível com a argamassa, sendo necessário umedecer previamente os substratos muito absorventes e remover ou corrigir rebarbas, falhas e pontas metálicas com argamassa compatível com o emboço (ABNT, 1998).

Nos encontros entre substratos de naturezas distintas, como concreto e alvenaria, devem-se adotar soluções que acomodem deformações diferenciais, recomendando-se o uso de telas metálicas ou plásticas e/ou de juntas de dilatação para prevenir fissuras. A base precisa estar limpa, isenta de poeira, graxas, óleos, eflorescências e outros contaminantes; a limpeza pode ser feita por escovação ou jateamento com água e, no caso de substâncias oleosas ou eflorescências, é necessário tratamento químico específico, seguido de enxágue e secagem total antes da aplicação da argamassa (ABNT, 1998).

A execução das camadas de revestimento inicia-se com o chapisco, cuja finalidade é promover a aderência entre a base e as camadas subsequentes e contribuir para a homogeneidade da distribuição de tensões; deve apresentar consistência fluida, ser aplicado em camada fina e ser curado por umedecimento periódico (ABNT, 1998). Em seguida, aplica-se o emboço (ou camada única), respeitando as espessuras previstas no projeto, com taliscas como referência de nivelamento; a argamassa deve ser lançada com energia suficiente para assegurar a aderência e a compactação, sendo posteriormente sarrafeada e desempenada conforme o acabamento especificado.

O reboco consiste em uma camada fina, com espessura média de 0,5 mm, destinada à regularização e ao acabamento estético, devendo seguir os mesmos critérios técnicos do emboço e respeitar os prazos de cura e as condições ambientais recomendadas. A aplicação do revestimento não deve ocorrer em temperaturas inferiores a 5 °C ou superiores a 30 °C e, após a aplicação, é obrigatório manter o revestimento úmido por, no mínimo, 24 horas, por aspersão de água, conforme a NBR 7200 (ABNT, 1998).

Por fim, a execução correta de detalhes construtivos — como arestas, juntas de dilatação, pingadeiras, vergas e contravergas — é essencial para o desempenho do revestimento, devendo as juntas ser posteriormente seladas com materiais elastoméricos, como poliuretano, para garantir a estanqueidade e permitir a acomodação das movimentações da estrutura (ABNT, 1998). Nos itens a seguir, apresentam-se os grupos de manifestações e os pontos de controle associados.

4.1 Fissuração na base e transmissão para o revestimento

Fissuras verticais e inclinadas em vãos, quando não estabilizadas, tendem a se refletir no revestimento argamassado e nas pinturas, gerando caminhos preferenciais para a entrada de água e acelerando a degradação. Nos vãos, a presença de vergas e contravergas adequadamente detalhadas e executadas reduz as concentrações de tensão e limita as fissuras inclinadas. Para fissuração por retração e variação térmica, a previsão e a execução de juntas de controle, além do controle de cura e da proteção contra vento e insolação nas primeiras idades, são estratégias de prevenção.

4.2 Fissuras, deslocamentos e manifestações associadas à umidade no revestimento

No revestimento, fissuras mapeadas sinalizam retração e gradientes de umidade, frequentemente associados a traços com alto teor de finos, excesso de água, cura inadequada e espessuras elevadas sem compatibilização. Desplacamentos indicam falhas de aderência ou de coesão e podem ser desencadeados por substrato contaminado, chapisco inadequado, superfície seca em excesso durante a aplicação ou por movimentações da base. Eflorescências, vesículas e manchamentos apontam a presença persistente de umidade e exigem diagnóstico para identificar a origem (infiltração, capilaridade, detalhamento de coroamento e pingadeiras ou drenagem insuficiente).

4.3 Etapas críticas e pontos de controle preventivo

A partir do mapeamento, verificou-se que as etapas de preparação da base, de produção e de armazenamento de materiais e de execução do emboço concentram a maior parte das causas prováveis de MP. A Tabela 1 sintetiza as manifestações típicas e sua relação com os mecanismos e as etapas de execução.

Tabela 1 – Síntese das manifestações patológicas, dos mecanismos prováveis e das etapas associadas.

Manifestação	Síntomas típicos	Causas prováveis	Etapas associadas
Fissuras verticais	Linhas verticais contínuas ou segmentadas	Deformação diferencial; rigidez incompatível; ausência de detalhamento	Alvenaria, encunhamento, detalhamento
Fissuras inclinadas em vãos	Fissuras diagonais próximas a aberturas	Vergas/contravergas insuficientes; concentração de tensões	Alvenaria estrutural; execução de reforços
Fissuras mapeadas no revestimento	Rede fina de fissuras superficiais	Retração; excesso de água; cura insuficiente; espessura elevada	Dosagem; aplicação; cura
Desplacamento/descolamento	Som cavo, placas destacando, empolamento	Baixa aderência; base contaminada; chapisco inadequado; cura deficiente	Preparação de base; chapisco; emboço; cura
Eflorescência/vesículas	Depósitos esbranquiçados, bolhas	Umidade persistente; sais solúveis; drenagem/detalhes deficientes	Detalhes construtivos; estanqueidade; manutenção
Manchamentos	Alteração de cor, marcas de escorrimento	Lavagem diferencial; biocolonização; contaminação; umidade	Proteção; detalhamento; manutenção

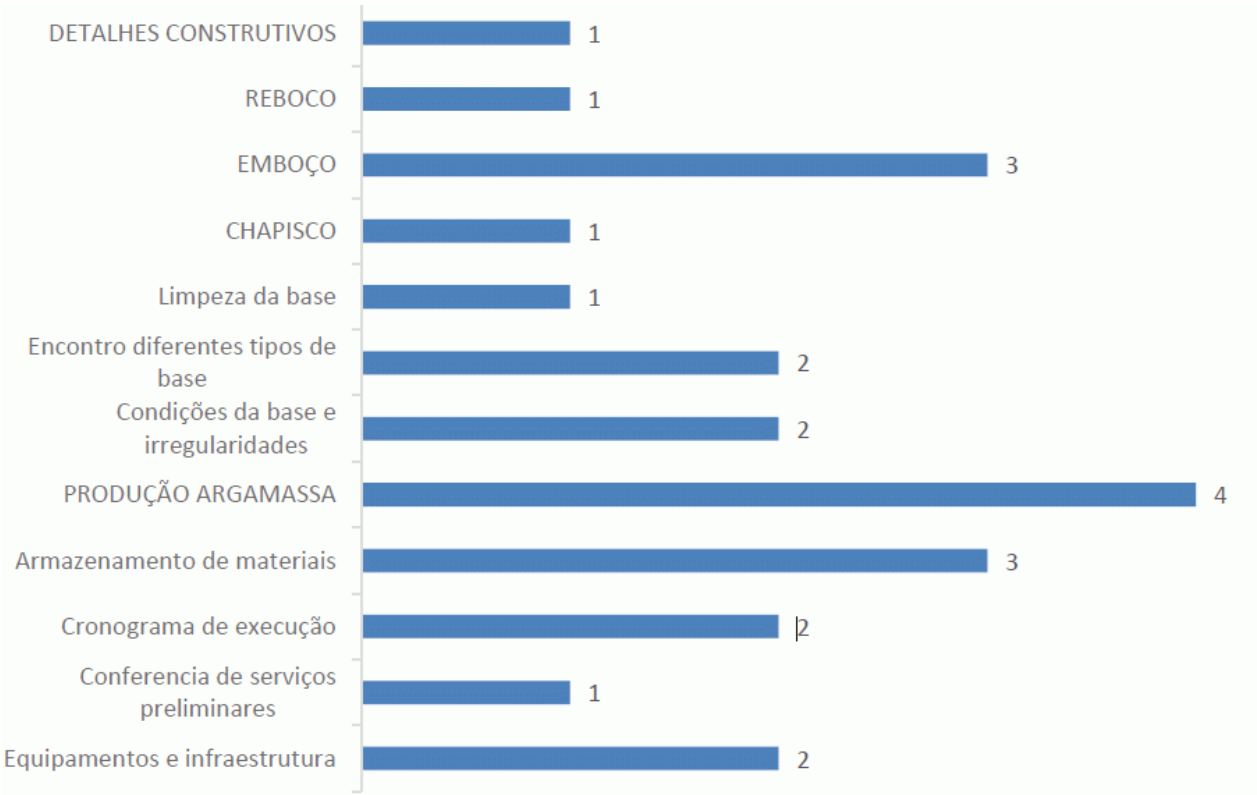
5. RESULTADOS

A matriz de correlação elaborada neste trabalho evidencia que a maior parte das manifestações patológicas recorrentes em fachadas de alvenaria estrutural com revestimento argamassado pode ser interpretada a partir da combinação de poucos mecanismos dominantes e de várias falhas pontuais de processo. Em vez de resultados fragmentados por sintoma, a análise mostra que diferentes manifestações compartilham causas de origem semelhantes, concentradas principalmente na produção da argamassa, na preparação da base, na execução do emboço e no tratamento das interfaces.

Essa leitura tem implicação prática direta: etapas que concentram maior número de associações entre erro e manifestação devem ser tratadas como pontos prioritários de controle em obra. No material analisado, tais etapas respondem por uma parcela expressiva das correlações estabelecidas, o que confirma que a prevenção depende menos de intervenções difusas e mais do reforço de inspeções em pontos críticos de decisão. Assim, a relevância dos resultados não está apenas em identificar quais defeitos ocorrem com mais frequência, mas também em indicar onde o processo precisa ser estabilizado para reduzir a reincidência.

A Figura 1 reforça esse entendimento ao mostrar que algumas etapas têm maior capacidade de induzir múltiplas manifestações. Encontros entre diferentes tipos de base, por exemplo, podem estar associados a fissuras e manchamentos; já falhas de preparo ou de aplicação podem convergir em descolamentos, empolamentos e perda de estanqueidade. Isso demonstra que a criticidade de uma etapa não decorre apenas da probabilidade de um defeito específico, mas também do número de mecanismos que ela pode acionar simultaneamente.

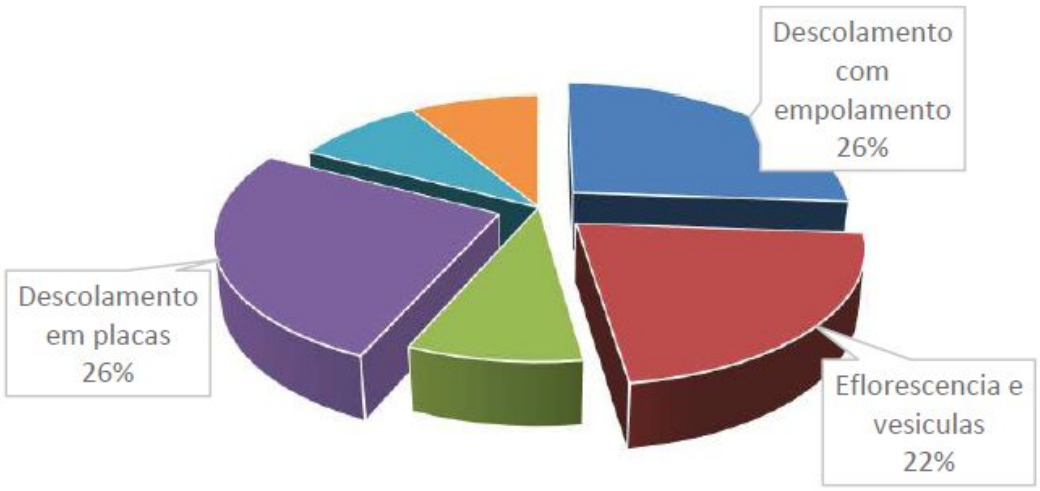
Figura 1 – Número de manifestações patológicas associadas a erros em cada etapa do processo executivo



A Figura 2 complementa a análise ao indicar que manifestações relacionadas à aderência e à umidade apresentam elevada propensão de ocorrência quando as etapas críticas não são adequadamente controladas. Descolamentos com empolamento, eflorescências, vesículas e destacamentos em placas não devem ser lidos como eventos isolados, mas como evidências de ruptura do controle executivo e da proteção da fachada ao longo do tempo. Já as fissuras, embora nem sempre predominem numericamente, mantêm alta relevância por funcionarem como via de ingresso de água e por acelerarem danos secundários.

Sob a ótica da assistência técnica, os resultados confirmam que manifestações em fachada tendem a gerar custos desproporcionais em relação à sua origem. O reparo geralmente envolve mobilização de equipes especializadas, acesso por meio de equipamentos, impacto na rotina dos usuários e, em situações mais críticas, interdições preventivas. Desse modo, o artigo sustenta que o investimento em controle de qualidade, rastreabilidade e treinamento possui natureza preventiva e econômica, e não apenas normativa.

Figura 2 – Probabilidade de surgimento manifestações patológicas



Em síntese, os resultados mostram que a contribuição mais relevante da análise não é apenas enumerar as MPs, mas sim demonstrar como a literatura e a prática podem ser integradas por meio de uma leitura causal do processo executivo. Essa integração torna os resultados mais aplicáveis à gestão da obra e à estruturação de programas de qualidade orientados por criticidade.

6. MELHORIAS NO PROCESSO

Os resultados obtidos permitem propor melhorias focadas na estabilização das etapas com maior potencial de desencadear anomalias. Em sistemas de fachada com forte participação manual, a gestão da qualidade deve atuar para reduzir a variabilidade, aumentar a repetibilidade e registrar as condições efetivas de execução. Nessa perspectiva, o controle deixa de ser apenas verificativo e passa a ser preventivo.

Mesmo quando determinadas medidas elevam o custo direto inicial, sua adoção tende a ser economicamente justificável diante dos custos de retrabalho, de reabilitação e de desgaste institucional associados à assistência técnica. Em fachadas, o efeito reputacional de defeitos visíveis e recorrentes costuma ser significativo, razão pela qual a melhoria do processo deve ser entendida como componente da estratégia produtiva da construtora.

6.1 Melhorias no processo de revestimento argamassado de fachada

No que se refere ao revestimento, as ações prioritárias de melhoria concentram-se em seis frentes principais: controle tecnológico e condições de armazenamento dos materiais; padronização do preparo da argamassa; definição de critérios formais para liberação da base; controle da rugosidade, da absorção e da limpeza do substrato; implantação de rastreabilidade por trechos executados; e fiscalização das condições de cura e do ambiente de aplicação. Em conjunto, essas medidas atuam diretamente sobre os mecanismos mais frequentemente associados a descolamentos, eflorescências, vesículas e fissuração mapeada.

Destaca-se, ainda, a necessidade de estabelecer protocolos objetivos para interfaces críticas, como os encontros entre alvenaria e concreto, as regiões de aberturas e os pontos singulares relacionados

à estanqueidade. Nessas zonas, a ausência de soluções de transição, de reforços ou de sistemas adequados de selagem favorece tanto a transmissão de deformações quanto o ingresso de água. O aprimoramento do processo, portanto, não deve se restringir à qualificação da argamassa, mas abranger o desempenho integrado do sistema de revestimento como um todo.

Além disso, a capacitação contínua da mão de obra e a supervisão técnica sistemática constituem condições decisivas para converter procedimentos prescritos em práticas efetivamente incorporadas ao processo executivo. Em sistemas predominantemente manuais, a padronização operacional somente se consolida quando acompanhada de treinamento, inspeção em campo e retroalimentação contínua a partir dos desvios identificados durante a execução e na assistência técnica.

À luz desse diagnóstico, identificam-se como ações prioritárias para a redução da variabilidade do processo executivo e para a mitigação da incidência de manifestações patológicas: a restrição ao uso de cal hidratada em argamassas produzidas em canteiro, quando tecnicamente pertinente; o fortalecimento do controle tecnológico dos blocos cerâmicos que compõem o substrato; o aprimoramento e a padronização da produção da argamassa em obra; a implementação de rotinas formais de inspeção e liberação do substrato antes do início do revestimento; o estabelecimento de rastreabilidade por trechos executados, associado ao controle rigoroso do regime de cura; e a adoção de programas permanentes de capacitação e qualificação das equipes de execução.

6.2 Melhorias no processo de produção da alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural é amplamente empregada por aliar desempenho satisfatório e, em diversos contextos, maior competitividade econômica em relação aos sistemas convencionais constituídos por estrutura de concreto armado e vedação de fechamento. Contudo, em fachadas revestidas com argamassa, eventuais não conformidades do substrato tendem a ser transferidas, amplificadas ou progressivamente evidenciadas no revestimento ao longo da vida em serviço. Esse fenômeno aumenta a demanda por intervenções corretivas, eleva os custos de reabilitação e acarreta repercussões significativas para a construtora, particularmente em razão das responsabilidades técnicas e dos prazos de garantia associados ao sistema estrutural.

Nesse contexto, torna-se essencial adotar uma estratégia de melhoria contínua apoiada no controle sistemático das variabilidades inerentes a um processo predominantemente manual. Tal estratégia deve contemplar, de forma articulada, o rigor no recebimento, na aceitação e na rastreabilidade dos blocos cerâmicos e das operações de grauteamento; a verificação contínua da execução e dos elementos de reforço previstos em projeto, tais como vergas, contravergas, alinhamento, prumo e juntas; e o controle de qualidade das argamassas associadas à alvenaria, abrangendo materiais, preparo, aplicação e conformidade com os requisitos de desempenho aplicáveis. A Tabela 2 sintetiza, nesse sentido, as etapas do processo, os erros típicos observados e as manifestações patológicas mais prováveis.

Sob o ponto de vista prático, a prevenção mais eficaz depende do tratamento integrado do sistema construtivo. Uma base geometricamente estável, adequadamente executada e tecnicamente controlada reduz a necessidade de correções em campo, limita a formação de espessuras excessivas no revestimento, favorece a aderência entre camadas e diminui a probabilidade de propagação de fissuras para a fachada. O controle da alvenaria estrutural e o do revestimento devem, portanto, ser compreendidos como dimensões complementares de uma mesma estratégia orientada ao desempenho.

Tabela 2 – Síntese (etapa–erro–manifestação provável)

Etapa	Erro típico	Manifestação patológica mais associada
Materiais/armazenamento	cal/areia contaminada, umidade	empolamento, eflorescência, vesículas
Produção da argamassa	traço e água sem controle	fissuras mapeadas, descolamento
Preparo da base	base suja/úmida/irregular	descolamento em placas, eflorescência
Interfaces (bases diferentes)	falta de juntas/vedação deficiente	fissuras horizontais, manchamentos
Aplicação/cura	espessura excessiva, cura inadequada	descolamento, empolamento, vesículas
Detalhes construtivos	ausência de pingadeiras/arremates	manchamentos, infiltrações, eflorescências

7. CONCLUSÕES

A alvenaria estrutural mantém ampla aplicação devido ao seu desempenho técnico e à competitividade econômica em relação aos sistemas convencionais. Contudo, em fachadas revestidas com argamassa, as não conformidades do substrato podem ser transferidas ou progressivamente manifestadas no revestimento ao longo da vida em serviço, ampliando a incidência de intervenções corretivas, os custos de reabilitação e a exposição da construtora a repercussões técnicas e operacionais.

A mitigação dessas ocorrências requer uma estratégia contínua de controle das variabilidades inerentes ao processo construtivo, com ênfase no recebimento e na rastreabilidade dos blocos e do graute, na verificação dos elementos de reforço e dos parâmetros geométricos de execução, e no controle das argamassas quanto a materiais, preparo, aplicação e conformidade com os requisitos de desempenho. A Tabela 2 sintetiza, nesse sentido, as etapas críticas, os erros típicos e as manifestações patológicas associadas.

Em termos práticos, a prevenção mais eficaz depende de uma abordagem integrada do sistema. Uma base geometricamente estável e tecnicamente controlada reduz correções em campo, limita espessuras excessivas de revestimento, favorece a aderência entre camadas e restringe a propagação de fissuras para a fachada. Assim, o controle da alvenaria estrutural e o do revestimento devem ser compreendidos como dimensões indissociáveis de uma mesma estratégia de desempenho e de durabilidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A.; LIMA, T. R.; SANTOS, R. C. **Manifestações em alvenaria estrutural: causas e soluções**. Revista Engenharia em Foco, v. 12, n. 1, p. 44–59, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7200: **Execução de revestimento de paredes e tetos com argamassas inorgânicas — Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15961: **Alvenaria Estrutural - Execução e Controle de Obras**. Rio de Janeiro, 2020.

BARROS, P. R.; VENTURA, D. F. **Avaliação de falhas em sistemas de vedação vertical em edificações**. Revista Técnico-Científica do CREA-SP, v. 8, n. 2, p. 97–110, 2019.

MELO, A. F.; FERREIRA, G. C. **Diretrizes para prevenção de falhas construtivas em alvenaria estrutural**. Revista Construindo, v. 26, n. 3, p. 75–90, 2020.

MOHAMAD, G. **Construções em Alvenaria Estrutural**. 2. Ed. Editora Blucher, 2020.

SINAPI. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Publicação de novembro de 2024.

SOUZA, R.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas**. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10907: Execução de revestimento de fachadas com argamassa – Procedimento. Rio de Janeiro, 1989.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16868-1: Alvenaria estrutural – Parte 1. Rio de Janeiro, 2020.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7175: Argamassa para revestimento – Requisitos. Rio de Janeiro, 1994.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7200: Execução de revestimentos em fachadas. Rio de Janeiro, 1995.
AROUCHA JUNIOR, J. A. M.; LOPES, V. F.; SOARES, W. M.; PIRES, M. S.; LEITE NETO, S. T. Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados: causas e prevenção. Revista Contemporânea, v. 3, n. 11, p. 21503–21511, 2023.
ALEIXO, H.; ELOY, G.; JUNIOR, L. Problemas patológicos: estudo de caso na Escola Estadual Antônio Papini em João Monlevade/MG. Research, Society and Development, v. 8, n. 6, p. 1-27, 2019.
NICHELE, B. P. Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos: controle na execução para evitar manifestações patológicas. 2014.

CAPÍTULO 30 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/4gmx2q29
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/zrgcne12

ESTRATÉGIAS PARA ELIMINAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: ABORDAGEM PREVENTIVA A PARTIR DOS AGREGADOS MIÚDOS

Bernardo Beckenkamp Hansmann[1]; Luciani Somensi Lorenzi[2]*; Lucas Alexandre Reginato[2]; Alexandre Lorenzi[2]
*Autor de contato: luciani.lorenzi@ufrgs.br

[1] Departamento de Engenharia Civil (DECIV), Laboratório de Ensaios e Modelos Experimentais (LEME), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil
[2] Instituto de Desempenho da UFRGS, Laboratório de Ensaios e Modelos Experimentais (LEME), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

Este trabalho avalia a influência da granulometria da areia natural, empregada como agregado miúdo, na resistência à compressão axial, na resistência à tração por compressão diametral e no módulo estático de elasticidade do concreto. Foram produzidos três concretos com traço fixo em massa 1:2:3 e fator água/cimento de 0,45, variando-se exclusivamente o tipo de areia (fina, média e grossa). Os agregados foram caracterizados por massa específica e unitária e por análise granulométrica. No concreto endurecido, executaram-se ensaios de compressão axial, de tração diametral e de módulo de elasticidade, em idades de referência de 7 e 28 dias. Os resultados indicaram influência sistemática do agregado miúdo nas propriedades mecânicas: a areia média, associada à maior massa unitária e a um empacotamento mais eficiente, apresentou os maiores valores médios de resistência e de módulo aos 28 dias, enquanto a areia grossa apresentou desempenho inferior, com maior sensibilidade à variabilidade experimental. Discute-se a relação entre a distribuição granulométrica, a porosidade e a zona de transição pasta-agregado, com implicações para o controle tecnológico e o desempenho.
Palavras-chave: agregado miúdo; granulometria; concreto; resistência à compressão; módulo de elasticidade.

ABSTRACT

This study evaluates how the grading of natural sand used as fine aggregate affects the compressive strength, splitting tensile strength, and static modulus of elasticity of concrete. Three concretes were produced with a fixed 1:2:3 mass proportion and a water-to-cement ratio of 0.45, changing only the sand grading (fine, medium, and coarse). Aggregates were characterized by specific and bulk density and by sieve analysis. Mechanical tests on hardened concrete were performed at reference ages of 7 and 28 days. Results show a systematic influence of fine aggregate on mechanical properties: medium sand, associated with higher bulk density and more efficient particle packing, provided the highest mean compressive strength and modulus at 28 days, whereas coarse sand led to lower performance and higher variability. The discussion links grading, void content, and the paste-aggregate interfacial transition zone, highlighting implications for quality control and performance.
Keywords: fine aggregate; grading; concrete; compressive strength; modulus of elasticity.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais empregados na construção civil devido à disponibilidade de insumos, à moldabilidade e à elevada resistência à compressão. O desempenho do concreto no estado endurecido resulta de um sistema multifásico cuja resposta mecânica depende, entre outros fatores, da qualidade da pasta de cimento, da porosidade e das características dos agregados. Em particular, o agregado miúdo desempenha papel relevante no empacotamento granular e na zona de transição pasta-agregado, influenciando a compacidade, a relação água/cimento efetiva e, por consequência, a resistência e a rigidez (MEHTA; MONTEIRO, 2006; NEVILLE, 2016).

Na prática, variações na granulometria da areia podem introduzir dispersão nos resultados de controle tecnológico e contribuir para um desempenho inferior do concreto, ampliando a suscetibilidade a manifestações como fissuração e deformações excessivas em serviço. Assim, compreender a influência da granulometria do agregado miúdo em concretos com dosagem fixa é relevante para a padronização de materiais e para a redução da variabilidade em obras e em processos de reabilitação.

Este trabalho investiga a influência da granulometria da areia natural nas propriedades mecânicas do concreto, avaliando a resistência à compressão axial, a resistência à tração por compressão diametral e o módulo estático de elasticidade. Para isolar o efeito do agregado miúdo, adotaram-se traço fixo e fator água/cimento constante, variando-se apenas o tipo de areia.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Agregado miúdo, empacotamento e demanda de pasta

A granulometria do agregado miúdo condiciona diretamente o empacotamento das partículas, o volume de vazios e, consequentemente, a demanda de pasta para preencher os poros e envolver os grãos. Distribuições mais contínuas tendem a reduzir os vazios e a necessidade de água para atingir determinada trabalhabilidade, enquanto granulometrias com carência de finos ou com excesso de partículas muito finas podem elevar a porosidade efetiva e aumentar a sensibilidade do concreto às variações de consistência e de resistência. Sob a ótica da dosagem, esses efeitos podem alterar a relação água/cimento efetiva e o teor de ar aprisionado, refletindo-se nas propriedades mecânicas e no desempenho em serviço (MEHTA; MONTEIRO, 2006; NEVILLE, 2016; SBRIGHI NETO, 2011).

No contexto brasileiro, a ABNT NBR 7211 estabelece faixas granulométricas e requisitos para agregados destinados ao concreto, visando limitar variações abruptas na distribuição e reduzir o risco de heterogeneidade do material. A composição granulométrica é determinada conforme a ABNT NBR NM 248, permitindo avaliar parâmetros como a dimensão máxima característica e o módulo de finura, indicadores úteis para o controle tecnológico e para a rastreabilidade do fornecimento.

2.2 Zona de transição interfacial e rigidez do compósito

Além do empacotamento, a distribuição granulométrica influencia a microestrutura da matriz e a zona de transição interfacial (ITZ) entre a pasta e os agregados. A ITZ tende a apresentar maior

porosidade e concentração de microfissuras, funcionando como região preferencial para a iniciação e a propagação de danos, com efeitos mais evidentes nas propriedades relacionadas à deformabilidade, como o módulo de elasticidade. Assim, concretos com maior compacidade e menor volume de vazios tendem a exibir maiores resistências e maior rigidez, desde que se mantenham o teor de cimento e a relação água/cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2006; NEVILLE, 2016; HELENE, 2010).

2.3 Implicações para desempenho e patologia do concreto

Variabilidades no agregado miúdo repercutem em parâmetros que, em escala estrutural, influenciam as deformações, a fissuração e a durabilidade. Mudanças na resistência e no módulo alteram a estimativa de flechas, as redistribuições de esforços e, indiretamente, a suscetibilidade a fissuras por retração e por carregamento. Do ponto de vista da patologia das construções, o controle do agregado miúdo integra o sistema de garantia da qualidade do concreto, pois reduz a dispersão dos resultados e apoia decisões de aceitação e de rastreamento em obra (HELENE, 1984; PACHECO; HELENE, 2013). Para estimativas normativas de rigidez, por exemplo, a ABNT NBR 6118 prevê coeficientes de correção associados ao tipo de agregado graúdo, reforçando que o compósito é sensível às características dos constituintes e não apenas ao teor de cimento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Foram utilizados cimento Portland do tipo CP IV-32 RS, água potável, agregado graúdo britado (brita 0) de origem basáltica e três areias naturais (fina, média e grossa) provenientes da mesma região de extração. Para fins de avaliação cega, a instituição executora e o local específico foram omitidos.

3.2 Caracterização dos agregados

Os agregados foram caracterizados por massa específica e massa unitária, bem como por análise granulométrica por peneiramento, conforme os procedimentos normativos aplicáveis (ABNT NBR NM 45, 2006; ABNT NBR NM 52, 2009; ABNT NBR NM 53, 2009; ABNT NBR NM 248, 2003; ABNT NBR 7211, 2005).

3.3 Dosagem, moldagem e cura

Foram produzidos três concretos com traço fixo em massa 1:2:3 (cimento:areia:brita) e fator água/cimento 0,45, variando-se exclusivamente o tipo de areia: Traço A (areia fina), Traço B (areia média) e Traço C (areia grossa). A mistura foi executada em betoneira de eixo inclinado, seguindo a sequência de adição dos materiais e o tempo mínimo de mistura até a homogeneidade. Corpos de prova cilíndricos de 100 mm x 200 mm foram moldados e submetidos à cura úmida até a data do ensaio (ABNT NBR 5738, 2003).

3.4 Programa experimental e ensaios

Para cada traço foram moldados 18 corpos de prova, totalizando 54 unidades. Ensaios de compressão axial (ABNT NBR 5739, 2018) foram realizados em 6 corpos de prova na idade de referência de 7 dias e em 3 corpos de prova aos 28 dias. Ensaios de tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222, 2011) foram realizados em 3 corpos de prova aos 7 dias.

O módulo estático de elasticidade à compressão foi determinado pelo método de tensão fixa (método A), conforme a ABNT NBR 8522 (2017), com 3 corpos de prova aos 7 dias e 3 aos 28 dias. No Traço A, a campanha prevista para 7 dias foi executada aos 10 dias devido a restrições operacionais no laboratório; os valores são apresentados com essa observação.

Tabela 1 – Quantidade de corpos de prova por ensaio e por traço.

Traço	Compressão axial	Módulo de elasticidade	Tração diametral	Total
A - Areia fina	9	6	3	18
B - Areia média	9	6	3	18
C - Areia grossa	9	6	3	18

Fonte: os autores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos agregados

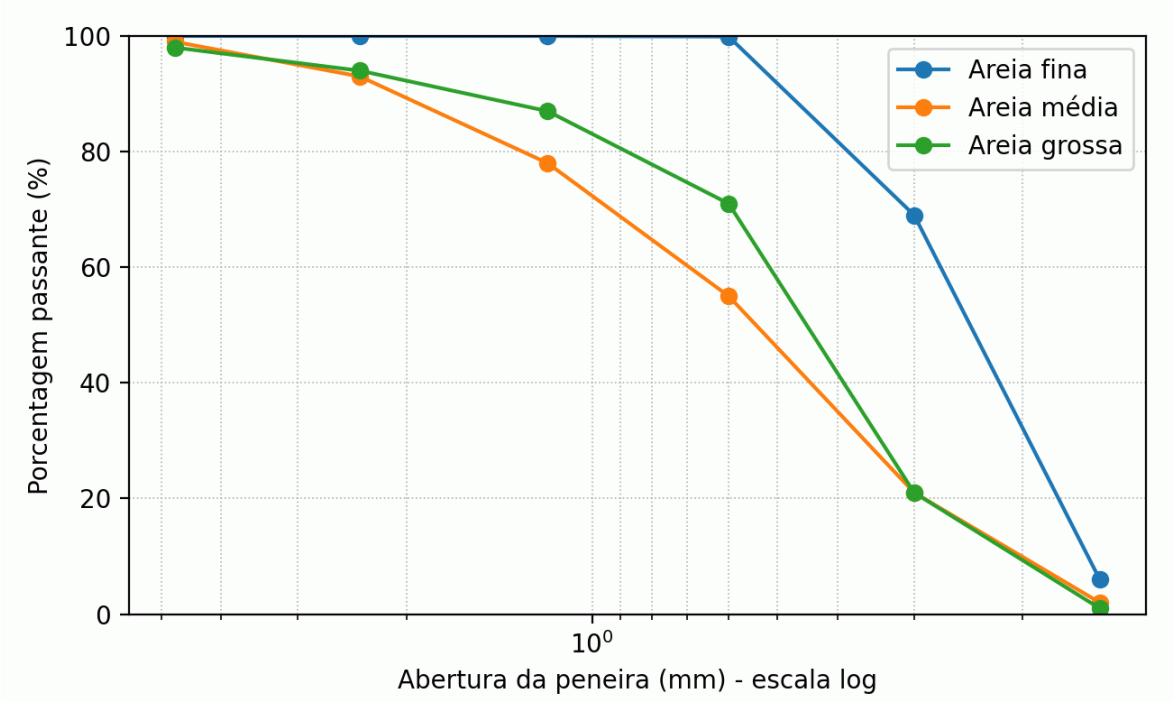
A Tabela 2 apresenta os principais parâmetros físicos e granulométricos das areias avaliadas. Observa-se que a areia média apresentou a maior massa unitária (1,53 g/cm³), enquanto a areia grossa apresentou a menor (1,09 g/cm³), indicando diferenças de empacotamento e de conteúdo de vazios no estado seco. O módulo de finura variou de 1,25 (areia fina) a 2,52 (areia média).

Tabela 2 – Características físicas e granulométricas dos agregados miúdos.

Parâmetro	Areia fina	Areia média	Areia grossa
Massa específica (g/cm³)	2,62	2,62	2,62
Massa unitária (g/cm³)	1,46	1,53	1,09
Dimensão máxima característica (mm)	0,60	4,80	4,80
Módulo de finura	1,25	2,52	2,28
Retida acumulada a 4,75 mm (%)	0	1	2
Retida acumulada a 2,38 mm (%)	0	7	6
Retida acumulada a 1,18 mm (%)	0	22	13
Retida acumulada a 0,60 mm (%)	0,1	45	29
Retida acumulada a 0,30 mm (%)	31	79	79
Retida acumulada a 0,15 mm (%)	94	98	99

A Figura 1 ilustra as curvas granulométricas dos agregados miúdos utilizados.

Figura 1 - Curvas granulométricas dos agregados miúdos (porcentagem passante em função da abertura de peneira). Fonte: do autor.



A Tabela 3 resume as características do agregado graúdo (brita 0) utilizado na dosagem. Os resultados de granulometria indicam uma dimensão máxima característica de 9,5 mm, compatível com o sistema de dosagem adotado.

Tabela 3 – Características físicas e granulométricas do agregado graúdo (brita 0).

Parâmetro	Brita 0
Massa específica (g/cm³)	2,84
Massa unitária (g/cm³)	1,46
Dimensão máxima característica (mm)	9,5
Módulo de finura	5,79
Absorção (%)	3,4
Retida acumulada a 9,5 mm (%)	1
Retida acumulada a 6,3 mm (%)	43
Retida acumulada a 4,75 mm (%)	79
Retida acumulada a 2,36 mm (%)	100

Do ponto de vista microestrutural, diferenças na distribuição granulométrica do agregado miúdo afetam a compacidade do esqueleto granular e a demanda de pasta para preenchimento de vazios. Areias com empacotamento mais eficiente tendem a reduzir a porosidade e a favorecer o desempenho mecânico, especialmente em idades mais avançadas, quando o desenvolvimento de produtos de hidratação é mais expressivo (MEHTA; MONTEIRO, 2006; NEVILLE, 2016).

4.2 Resistência à compressão axial

A Tabela 4 apresenta os resultados de resistência à compressão axial. Observa-se que, aos 28 dias, o Traço B (areia média) apresentou a maior resistência média (28,65 MPa), enquanto o Traço C (areia grossa) apresentou a menor (20,58 MPa). Os coeficientes de variação (CV) evidenciam maior dispersão no Traço B aos 7 dias, associada à variabilidade experimental.

Tabela 4 – Resistência à compressão axial (ABNT NBR 5739:2018).

Traço	Idade (dias)	n	Resistência Média (MPa)	CV (%)
A - Areia fina	10*	6	13,78	7,45
A - Areia fina	28	3	22,34	5,17
B - Areia média	7	6	14,18	26,98
B - Areia média	28	3	28,65	13,70
C - Areia grossa	7	6	10,38	7,87
C - Areia grossa	28	3	20,58	7,60

O melhor desempenho do Traço B aos 28 dias pode ser relacionado ao empacotamento mais favorável do agregado miúdo, evidenciado pela maior massa unitária, o que tende a reduzir a fração de vazios e a concentrar a pasta de cimento em um volume mais eficiente. Por outro lado, o Traço C apresentou resistências inferiores, coerentes com a hipótese de deficiência de finos e de descontinuidade granulométrica, condições que aumentam a porosidade global e fragilizam a zona de transição (MEHTA; MONTEIRO, 2006).

4.3 Resistência à tração por compressão diametral

A resistência à tração por compressão diametral, apresentada na Tabela 5, seguiu uma tendência consistente com os resultados de compressão: o Traço B apresentou maior resistência média (1,91 MPa), seguido por Traço A (1,55 MPa) e Traço C (1,24 MPa). A maior variabilidade do Traço C (CV de 13,76%) reforça a sensibilidade do concreto à granulometria do agregado miúdo.

Tabela 5 – Resistência à tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222:2011).

Traço	Idade (dias)	n	Resistência média (MPa)	CV (%)
A - Areia fina	10*	3	1,55	3,32
B - Areia média	7	3	1,91	5,24
C - Areia grossa	7	3	1,24	13,76

4.4 Módulo estático de elasticidade

A Tabela 6 apresenta os módulos estáticos de elasticidade. Aos 28 dias, o Traço B apresentou o maior valor médio (36,00 GPa), seguido por Traço C (27,42 GPa) e Traço A (26,14 GPa). Aos 7 dias, os valores refletem a condição de ensaio do Traço A aos 10 dias. Registra-se a ocorrência de discrepância no Traço B aos 28 dias, fenômeno compatível com a variabilidade experimental do ensaio de módulo do concreto (MONTIJA, 2007).

Tabela 6 – Módulo estático de elasticidade (ABNT NBR 8522:2017).

Traço	Idade (dias)	n	Módulo médio (GPa)
A - Areia fina	10*	3	24,35
B - Areia média	7	3	22,96
C - Areia grossa	7	3	20,57
A - Areia fina	28	3	26,14
B - Areia média	28	3	36,00
C - Areia grossa	28	3	27,42

Em termos de implicações práticas, os resultados reforçam que a caracterização granulométrica do agregado miúdo e o controle do fornecimento são determinantes para reduzir a dispersão das propriedades mecânicas. Em concretos produzidos com traço fixo, a variação na areia pode alterar a compacidade e afetar simultaneamente a resistência e o módulo, parâmetros relevantes para o desempenho estrutural e para a avaliação de integridade em estruturas e elementos reabilitados.

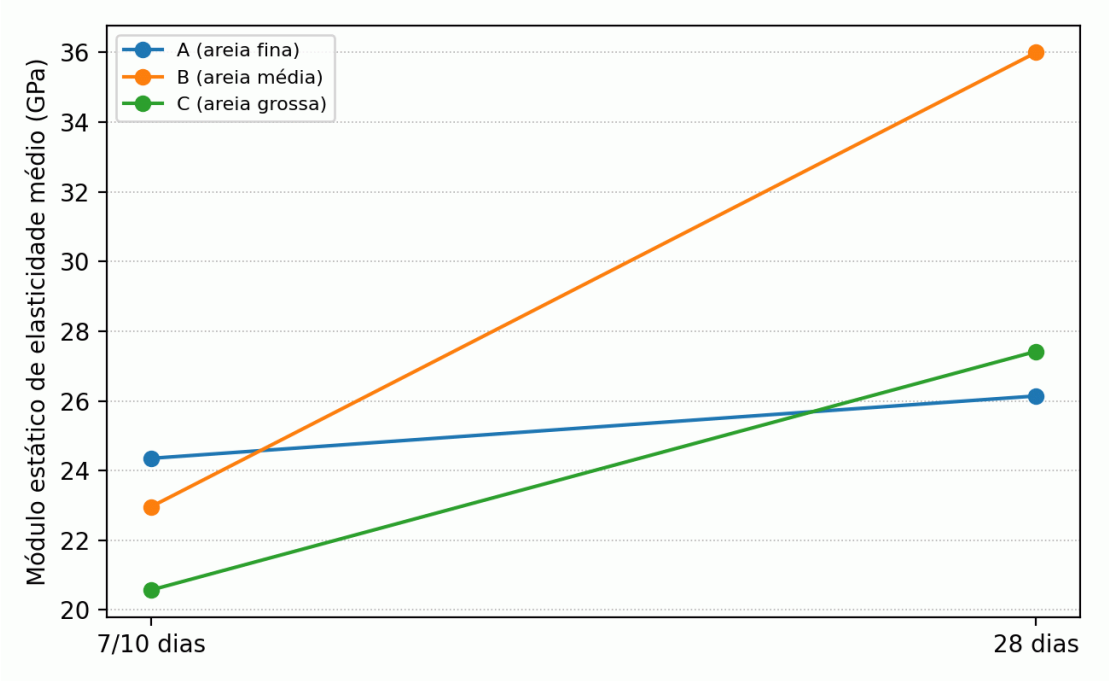
Como verificação adicional, comparou-se o módulo medido aos 28 dias com a estimativa normativa da ABNT NBR 6118, que utiliza coeficiente αE associado ao tipo de agregado graúdo. Na ausência de identificação petrográfica do agregado, adotou-se αE = 1,0 como valor de referência, observando-se que a estimativa é compatível com o Traço A, enquanto os Traços B e C apresentaram módulos superiores, sugerindo contribuição adicional de empacotamento, da qualidade da matriz e da dispersão experimental (Tabela 7).

Tabela 7 – Comparação entre o módulo de elasticidade medido e o estimado segundo a ABNT NBR 6118 (αE = 1,0).

Traço	fcm,28 (MPa)	E medido,28 (GPa)	É estimado NBR 6118 (GPa)	Diferença (%)
Traço A	22,34	26,14	26,47	-1,2
Traço B	28,65	36,00	29,97	20,1
Traço C	20,58	27,42	25,40	7,9

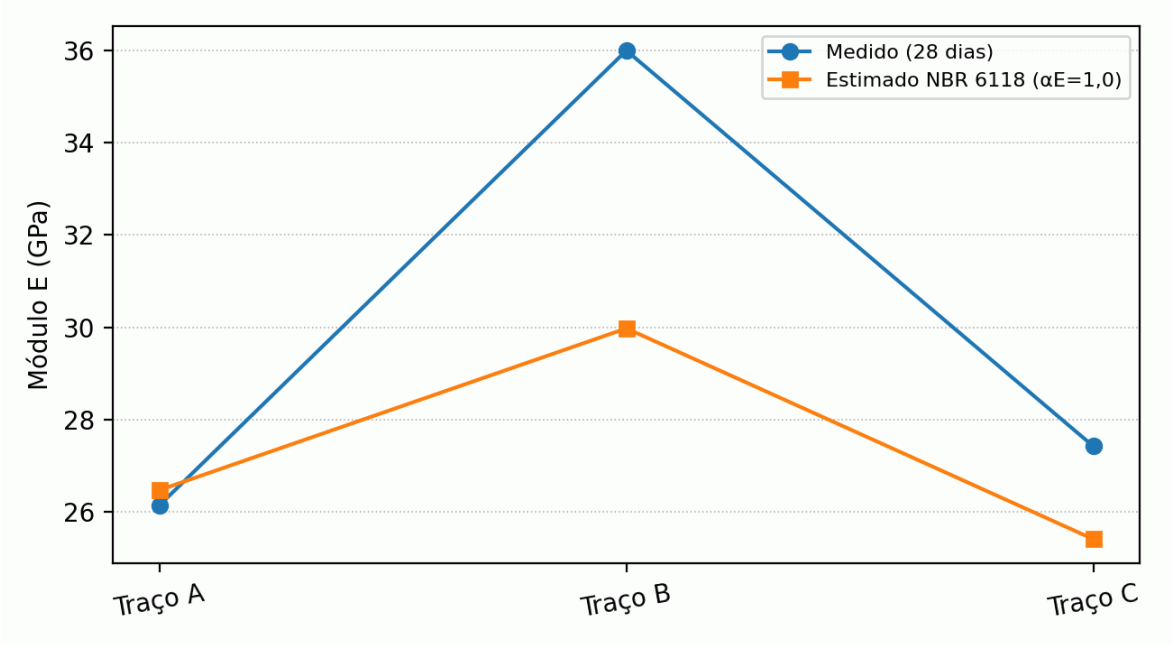
A Figura 2 apresenta o comportamento do módulo de elasticidade com base nos resultados dos ensaios.

Figura 2 - Evolução do módulo estático de elasticidade médio (7/10 e 28 dias).



Analisando a Figura 2, observa-se um aumento do módulo de elasticidade à medida que aumenta a idade de ruptura dos corpos de prova, o que atende à expectativa. Partindo da análise da influência do tipo de agregado miúdo, observa-se que a areia média apresentou melhores resultados no módulo de elasticidade aos 28 dias.

Figura 3 – Comparação entre o módulo de elasticidade medido e estimado segundo a ABNT NBR 6118 (αE = 1,0).



4.5 Implicações para controle tecnológico e variabilidade

Os resultados indicam que o agregado miúdo exerce influência relevante na resistência e na rigidez do concreto, mesmo mantendo-se o traço 1:2:3 e a relação água/cimento constantes. A comparação entre a massa unitária das areias e o desempenho médio aos 28 dias sugere tendência de aumento de fcm,28 e de E, com maior compacidade do agregado miúdo, especialmente no Traço B (Figura 4). Esse comportamento é coerente com a redução do volume de vazios e da demanda de pasta, com reflexos na porosidade da matriz e na qualidade da ITZ (MEHTA; MONTEIRO, 2006; NEVILLE, 2016).

Outro aspecto crítico observado foi a variabilidade. Enquanto o Traço B apresentou CV reduzido aos 28 dias, os ensaios em idades iniciais indicaram dispersão mais elevada, evidenciando a sensibilidade da resposta mecânica às condições de moldagem e de cura, bem como às características granulométricas. A Figura 5 sintetiza essa dispersão, reforçando que a avaliação apenas pela média pode ocultar riscos de não conformidade no controle estatístico de aceitação.

Do ponto de vista do controle tecnológico, recomenda-se que a composição granulométrica e a umidade do agregado miúdo sejam monitoradas em frequência compatível com a variabilidade do fornecedor, adotando-se ajustes de dosagem quando necessário. Diretrizes de amostragem, preparo e aceitação de concreto são discutidas na ABNT NBR 12655, sendo a rastreabilidade do agregado um elemento-chave para mitigar desvios de resistência e reduzir a probabilidade de fissuração e de patologias associadas à retração e à deformabilidade excessiva (ABNT, 2015; HELENE, 1984).

Figura 4 – Relação entre a massa unitária do agregado miúdo e o desempenho aos 28 dias (fcm e E).

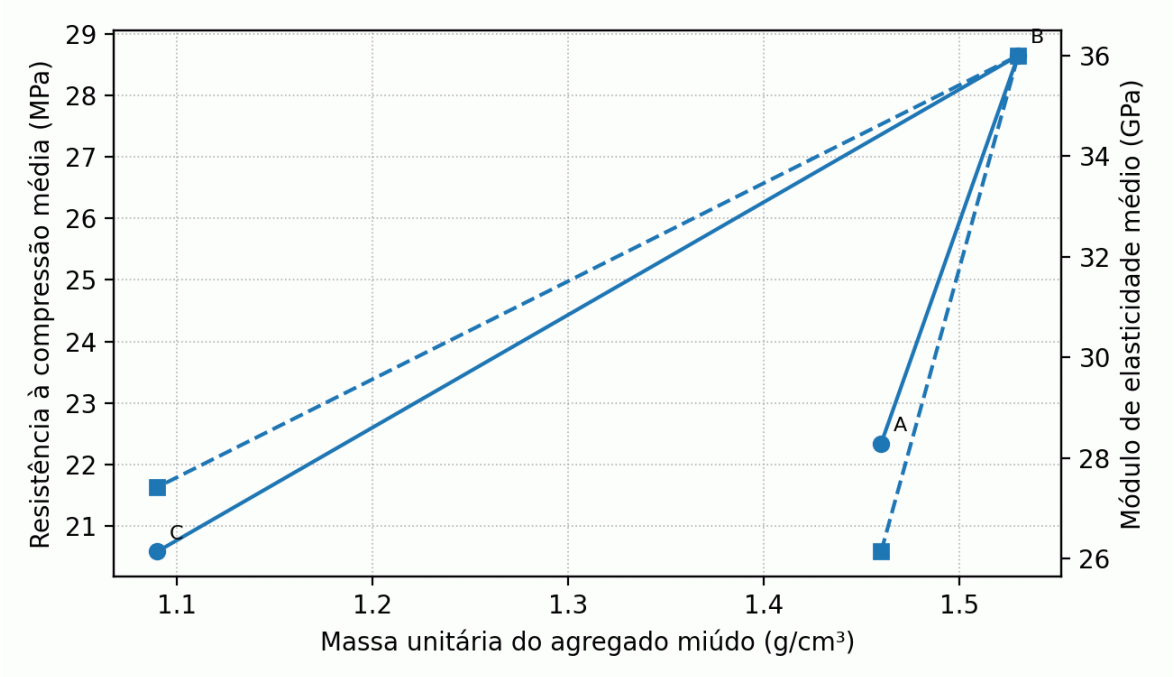
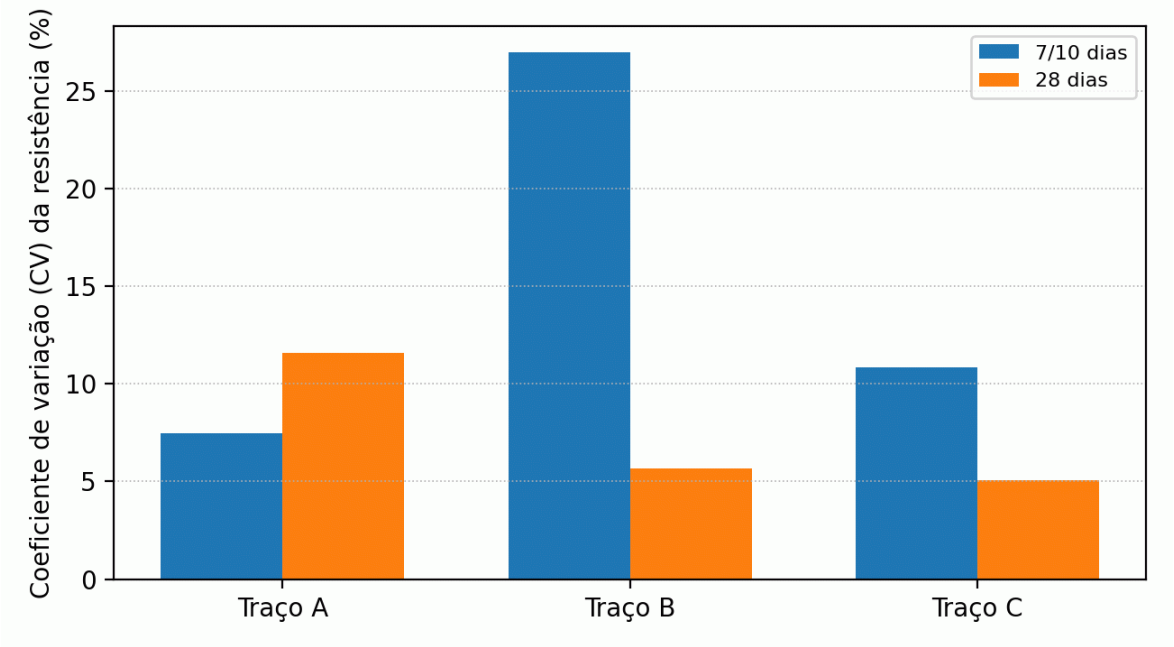


Figura 5 – Coeficiente de variação (CV) da resistência à compressão em função do traço e da idade.



5. CONCLUSÕES

Estudos experimentais e revisões mostram que a granulometria e o módulo de finura do agregado miúdo afetam diretamente o empacotamento, a demanda de água, a porosidade e, como consequência, a resistência e o módulo de elasticidade. Em geral, ajustes que melhoram a distribuição granulométrica tendem a elevar a resistência à compressão e à tração, enquanto graduações deficientes (por falta de finos ou excesso de partículas muito finas) podem reduzir o desempenho por aumento de vazios ou por maior relação a/c efetiva.

Esses mecanismos ajudam a explicar por que uma faixa intermediária de areia pode favorecer o comportamento mecânico do concreto, mas também apontam para a necessidade de controle estatístico e de variáveis de produção para obter conclusões robustas. A análise dos resultados indica que a granulometria da areia influencia as propriedades do concreto endurecido, conforme evidenciado nos gráficos comparativos. Ressalta-se que as areias empregadas foram obtidas na região de Santa Cruz do Sul – RS.

De modo geral, o concreto produzido com areia média apresentou melhor desempenho global nos ensaios realizados, quando comparado às misturas com areia grossa e fina. Esse comportamento é coerente com os resultados de caracterização dos agregados miúdos: o agregado com maior massa unitária (areia média) apresentou as maiores resistências, sugerindo maior empacotamento e menor volume de vazios na matriz.

No ensaio de resistência à compressão, a areia média apresentou os maiores valores nas idades de 7 dias (14,18 MPa) e de 28 dias (28,65 MPa). Observa-se que, aos 7 dias, a areia fina atingiu 13,78 MPa, resultado próximo ao obtido com areia média. Em contrapartida, o traço executado com areia grossa apresentou o menor desempenho, atingindo 20,58 MPa aos 28 dias. Quanto à resistência à tração por compressão diametral, os corpos de prova foram rompidos aos 7 dias, e verificou-se novamente a superioridade da areia média (1,91 MPa), seguida da areia fina (1,55 MPa) e da areia grossa (1,24 MPa). Registra-se que, por limitações operacionais do laboratório, os corpos de prova da areia fina foram rompidos aos 10 dias, o que deve ser considerado na comparação direta dos resultados. No ensaio de módulo de elasticidade, observou-se comportamento dependente da idade: aos 7 dias, a areia fina apresentou o maior valor (24,35 GPa) e a areia grossa, o menor (20,57 GPa); já aos 28 dias, a areia média apresentou o maior valor (36,00 GPa) e a areia fina, o menor (26,14 GPa). Os menores valores obtidos com areia grossa (especialmente em compressão e tração) podem estar associados à baixa presença de finos, com possível deficiência no empacotamento granulométrico e aumento de vazios, o que prejudica o desempenho mecânico.

Por fim, embora os resultados apontem tendência de melhor desempenho para concretos com areia média (compressão axial, tração por compressão diametral e módulo de elasticidade), recomenda-se aumentar o número de amostras e repetir os ensaios com maior representatividade estatística, além de padronizar rigorosamente as idades de ruptura, para fortalecer a confiabilidade das comparações e das conclusões.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 308R-01: **Guide to Curing Concrete**. Farmington Hills, 2001.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório**. São Paulo: PINI, 2012.

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira: UNESP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5739: **Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7222: **Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8522: **Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12655: **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 45: **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

HELENE, P. **Controle da resistência à compressão do concreto**. São Paulo: PINI, 1984.

HELENE, P. **Concreto de cimento Portland**. In: ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 1, cap. 26.

PACHECO, J. **Concretos convencionais**. In: HELENE, P. et al. Controle da resistência do concreto. São Paulo: IBRACON, 2013.

SBRIGHI NETO, C. **Agregados naturais, produção e especificação**. In: ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: microstructure, properties, and materials**. Berkeley: McGraw-Hill, 2006.

MONTIJA, F. C. **Aspectos da variabilidade experimental do ensaio de módulo de deformação do concreto**. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007.

NEVILLE, A. M. **Propiedades del concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

CAPÍTULO 31 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/2edr6h22
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/mx8y7w41

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ARGAMASSA DE REPARO ESTRUTURAL EM EDIFÍCIO HOSPITALAR HISTÓRICO

Cintia Ferreira*; Sthefanny Ferreira; Evandro Silva; Apolo Almeida; Luciana Queiroz.
Autor de contato: cintia.ferreira@itec.ufpa.br

Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil
Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil
Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil
Infraestrutura Física, Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares, Belém, Brasil
Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil

RESUMO

As edificações hospitalares de valor histórico localizadas na região metropolitana de Belém enfrentam desafios severos quanto ao processo de degradação devido ao clima equatorial úmido e à exposição constante a agentes de limpeza agressivos. Este trabalho apresenta uma análise experimental da durabilidade e do comportamento mecânico de uma argamassa industrializada de alto desempenho, visando sua aplicação em reparos estruturais no Hospital Universitário João de Barros Barreto. A metodologia consistiu na caracterização do material nos estados fresco e endurecido, incluindo ensaios de densidade, consistência (*mini-slump*), absorção por capilaridade, resistência à tração na flexão e compressão, além de testes de carbonatação natural e durabilidade em meio agressivo gerado no processo de limpeza diária com o produto disponibilizado pelo hospital, considerando a rotina de preparo com duas diluições. No estado endurecido, o material apresentou alta resistência e baixa permeabilidade. A ausência de carbonatação na nos ciclos iniciais reafirma o potencial de proteção das armaduras contra a corrosão. Conclui-se que o material atende aos requisitos de biossegurança e desempenho mecânico necessários para o ambiente hospitalar agressivo, garantindo maior vida útil às intervenções de restauro e manutenção em estruturas históricas da região.

Palavras-chave: Degradação; argamassa; reparos; *ambiente hospitalar.*

ABSTRACT

Hospital buildings of historical value located in the metropolitan region of Belém face severe challenges regarding the degradation process due to the humid equatorial climate and constant exposure to aggressive cleaning agents. This work presents an experimental analysis of the durability and mechanical behavior of a high-performance industrial mortar, aiming at its application in structural repairs at the João de Barros Barreto University Hospital. The methodology consisted of characterizing the material in its fresh and hardened states, including density, consistency (mini-slump), capillary absorption, flexural and compressive tensile strength tests, as well as natural carbonation and durability tests in an aggressive environment generated during the daily cleaning process with the product provided by the hospital, considering the preparation routine with two dilutions. In the hardened state, the material showed high resistance and low permeability. The absence of carbonation in the initial cycles reaffirms the potential for protecting the reinforcement against corrosion. It is concluded that the material meets the biosafety and mechanical performance requirements necessary for the aggressive hospital environment, ensuring a longer lifespan for restoration and maintenance interventions in historical structures in the region.

Keywords: Degradation; mortar; repairs; hospital environment.

1. INTRODUÇÃO

Edificações antigas tendem a apresentar maior suscetibilidade aos processos de degradação, em razão do envelhecimento natural dos materiais, da ausência de requisitos normativos contemporâneos de desempenho e da exposição prolongada aos agentes ambientais. Na Região Metropolitana de Belém, ainda se observa um número significativo dessas construções, dentre as quais se destaca o Hospital Universitário João de Barros Barreto (HUJBB). Trata-se de um complexo edificado com técnicas construtivas características de sua época de implantação, atualmente apresentando áreas com comprometimento funcional e físico. Além de seu valor histórico, a edificação está inserida em um contexto climático de elevada agressividade, típico da região equatorial úmida, caracterizada por temperaturas elevadas, alta umidade relativa do ar e elevados índices pluviométricos ao longo do ano, fatores que intensificam os mecanismos de deterioração.

Os problemas resultantes da presença de água, podem ser especialmente graves, nas construções antigas ou em materiais com maior sensibilidade a este agente, por tanto, é importante avaliar a presença de manifestações patológicas causadas por esse agente (FREITAS,1992). Em grande parte, os primeiros a serem afetados são os revestimentos, pois estão constantemente expostos às intempéries. Assumem grande importância na conservação das construções, especialmente na proteção contra ações climáticas, choques mecânicos e contaminação ambiental afetando de um modo geral o conforto, a salubridade, o aspecto estético e a durabilidade das edificações (QUINTELA, 2006). Uma das áreas mais importantes para a durabilidade, são os elementos estruturais como pilares e vigas, a deterioração desses elementos pode acarretar problemas de segurança e vida útil das edificações.

Em edificações hospitalares, os requisitos de durabilidade assumem caráter ainda mais rigoroso, especialmente quando analisados sob a ótica da NBR 6118 (2023), que estabelece classes de agressividade ambiental (CAA) para o concreto armado. Considerando as condições de elevada umidade, possibilidade de condensação frequente e presença de agentes químicos utilizados nos processos de higienização e desinfecção, ambientes hospitalares tais como: áreas de atendimento, enfermarias, UTIs, CTIs, laboratórios e setores administrativos, podem ser enquadrados em classes de agressividade moderada a forte, a depender da intensidade de exposição e da natureza dos agentes químicos empregados.

Além da umidade constante, a utilização recorrente de produtos de limpeza com caráter ácido, alcalino ou com elevada concentração de compostos clorados intensifica os mecanismos de degradação físico-químico. Tais substâncias podem reagir com os produtos de hidratação do cimento, promovendo lixiviação de hidróxidos, aumento da porosidade superficial e redução da resistência mecânica dos revestimentos argamassados (GEOCZE; BORGES, 2018). Esse cenário evidencia a necessidade de considerar, no diagnóstico e na proposição de intervenções, não apenas os agentes ambientais naturais, mas também os agentes químicos de origem operacional, inerentes ao funcionamento hospitalar.

Os estudos no campo das tecnologias de reparo e/ou reforço de estruturas de concreto armado têm objetivado, prioritariamente, a melhoria das propriedades dos materiais de recuperação com relação à compatibilidade estrutural e de deformações (FRANÇA *et al.*, 2018). Dessa forma, este trabalho realizou um estudo experimental com um material de recuperação estrutural para compatibilizado quanto sua aplicação na recuperação dos elementos estruturais do HUJBB, analisando seus comportamentos mecânico e de durabilidade.

2. MÉTODOLOGIA

2.1 Dosagem e Preparo dos Corpos de Prova

O material utilizado para teste foi uma argamassa de alto desempenho, pré-dosada e de consistência fluida, que se encontra no mercado com o indicativo de ideal para grauteamento. Em sua descrição indica que ele é composto por cimento Portland (sem especificação pública), areia de quartzo de granulometria selecionada e aditivos especiais. Sua dosagem foi feita a partir da indicação do fabricante, seguindo sua recomendação tanto para traço como para método de mistura, que consiste em um traço de 0,12 litros/kg sem adição de pedrisco, e 0,13 litros/kg com adição de pedrisco, este trabalho experimental foi desenvolvido sem adição de pedrisco.

O processo de mistura foi feito da seguinte forma:

- Foi adicionado o volume de água indicado;
- Foi adicionado aos poucos a argamassa;
- A mistura foi feita por um misturador manual mecânico durante 5 minutos.

Processo este que foi seguido segundo a indicação do fabricante, como apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Processo de mistura
Fonte: Autores

A dosagem foi feita seguindo a recomendação do fabricante, que consta 0,12L de água por kg de cimento, foram moldados 27 corpos de provas para os ensaios necessários.

2.2 Propriedades da Argamassa

Para análise das propriedades do material de recuperação estrutural foram realizados para o ensaio de densidade, de acordo com a NBR 13278 (2005). E ensaio de consistência foi realizado pelo mini-slump (KANTRO, 1980) adaptado, sendo este medido conforme o ensaio de slump-flow NBR 15823-2 (2017), conforme ilustrado na Figura 2.

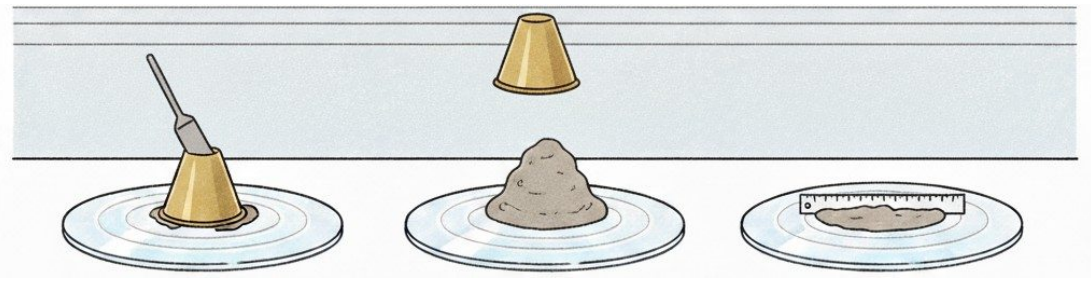


Figura 2 – Ensaio de mini-slump
Fonte: Ferreira *et al*. (2025)

Para análise das propriedades mecânicas e de durabilidade foram realizados os ensaios tração na flexão e compressão, conforme NBR 13279 (2005) e carbonatação natural em ambiente de laboratório.

2.3 Simulação de Durabilidade em Meio Agressivo

O revestimento de paredes em unidades de saúde é submetido a um regime de higienização rigoroso e frequente, utilizando agentes saneantes com alto potencial oxidante ou corrosivo. Diante deste cenário, a integridade física e química da argamassa é crucial para evitar o surgimento de porosidade excessiva e a subsequente colonização microbiológica. O presente ensaio teve como objetivo avaliar a durabilidade química de uma argamassa comercial frente aos protocolos de limpeza hospitalar. Para simular o desgaste acumulado que ocorreria ao longo de meses de uso real, adotou-se a metodologia de imersão cíclica acelerada, fundamentada em diretrizes da ASTM C267, utilizando o saneante hospitalar, composto pelos princípios ativos peróxido de hidrogênio (10%) e quaternário de amônia (6%) fornecido pelo hospital, este produto foi selecionado por representar a rotina operacional do Hospital Universitário João de Barros Barreto (HUJBB).

A simulação consistiu na exposição de corpos de prova prismáticos, previamente curados por 28 dias para garantir a maturação da matriz cimentícia. Foram realizados dois cenários distintos de agressividade empregados no processo de limpeza nas áreas identificadas na Figura 3, sendo esses:

- Diluição 1: Representando a dosagem operacional padrão utilizada pelo setor de higienização do hospital. Ele é mais diluído e utilizado em áreas menos críticas do hospital;
- Diluição 2: Representando a dosagem operacional padrão utilizada pelo setor de higienização do hospital. Ele é menos diluído e utilizado em áreas mais críticas do hospital.

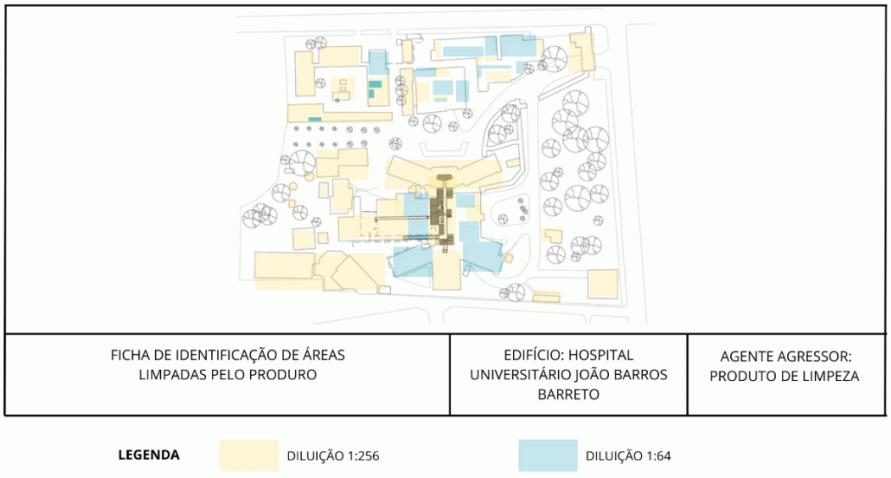


Figura 3 – Áreas limpadas pelo produto

Fonte: Autores

As amostras foram mantidas em imersão total e monitoradas em intervalos periódicos de sete em sete dias. Este monitoramento semanal permitiu observar a cinética de degradação através da variação de massa e da análise sensorial da superfície.

3. ENSAIOS E RESULTADOS

3.1 Densidade e Consistência (Mini-slump)

Os ensaios realizados com a argamassa industrializada revelaram propriedades físicas que a qualificam como uma barreira eficiente para ambientes hospitalar. A densidade (ver Tabela 1) média de 1,95 g/cm³ é considerada elevada para argamassas convencionais, sugerindo uma excelente curva granulométrica dos agregados selecionados pelo fabricante. Uma massa específica alta indica que o produto é pouco poroso. Em hospitais, onde as paredes são submetidas a batidas de macas e limpeza com produtos químicos, essa densidade garante maior resistência mecânica e menor absorção de contaminantes.

Tabela 1 – Resultados de consistência e densidade

CONSISTÊNCIA (cm)				
1° ENSAIO	1° LEITURA	2° LEITURA	3° LEITURA	MÉDIA
	11,00	11,00	10,30	10,766667
2° ENSAIO	1° LEITURA	2° LEITURA	3° LEITURA	MÉDIA
	11,00	11,00	11,20	11,066667
DENSIDADE (g/cm³)				
LEITURA		MASSA	VOLUME	DENSIDADE
1		228,00	113,04	2,0169851
DENSIDADE (g/cm³)				
LEITURA		MASSA	VOLUME	DENSIDADE
2		212,00	113,04	1,8754423
MÉDIA				1,9462137

Fonte: Autores

Já a consistência média de 10,92 cm indica que o produto possui uma reologia balanceada, conforme observado na Figura 4. Essa fluidez, típica de argamassas industrializadas com retentores de água e plastificantes de fábrica, garante que o aplicador consiga uma camada uniforme e lisa. Superfícies executadas com argamassas que apresentam bom espalhamento tendem a ter menos microfissuras e irregularidades, o que é vital para evitar o acúmulo de sujidades e microrganismos em hospitais.



(a) Leitura 1



(b) Leitura 2



(c) Leitura 3

Figura 4 – Ensaio de mini-slump
Fonte: Autores

3.2 Absorção por capilaridade

Os corpos de prova foram expostos a água para estudar sua absorção por meio da norma NBR 15259 (2005), visualizando sua percolação de água na argamassa, devido o revestimento ser um dos elementos que corroboram com a proteção dos pilares e sua armadura. Resultados apresentados no Gráfico 1.

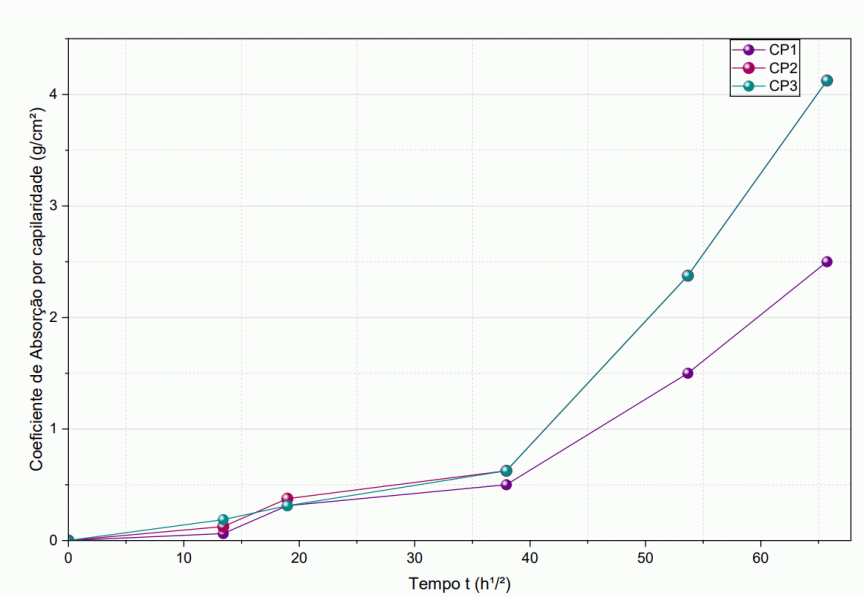


Gráfico 1 – Absorção por capilaridade
Fonte: Autores

Obtendo-se um coeficiente de capilaridade médio de 0,0157g/ ($cm^2.min^{1/2}$). No contexto de infraestrutura hospitalar, este resultado é extremamente relevante devido a necessidade de controle de agentes biológicos, visto que em materiais com baixo coeficiente de capilaridade dificultam a ascensão de umidade por sucção, reduzindo drasticamente os pontos de condensação interna e a formação de biofilmes. Como aponta a literatura, a baixa permeabilidade em revestimentos hospitalares é a primeira barreira física contra a proliferação de microrganismos e patógenos fúngicos (SANTOS et al., 2022).

Sendo a estanqueidade e higienização, em áreas críticas (centros cirúrgicos e UTIs), onde a assepsia é feita com soluções cloradas e lavagens frequentes, a baixa capilaridade impede que esses produtos químicos penetrem na matriz cimentícia, evitando a degradação estrutural e a corrosão de reforços metálicos. O refinamento dos poros via aditivos químicos é essencial para garantir que agentes de limpeza não se tornem agentes de deterioração interna (SILVA; OLIVEIRA, 2021).

Ao analisar a durabilidade e manutenção, o valor alcançado indica uma matriz densa, isso reduz a necessidade de intervenções frequentes para correção de infiltrações e eflorescências, minimizando a suspensão de partículas de poeira e entulho um fator crítico para a segurança do paciente e o controle de infecções hospitalares.

3.3 Tração na flexão

Os resultados de tração na flexão estão apresentados no Gráfico 2, onde se observa uma resistência média à tração na flexão de 1,91 MPa com 7 dias e 2,35 MPa com 28 dias de cura, sendo este um comportamento quanto ao desempenho mecânico classificado como excelente segundo a NBR 13281 (2023).

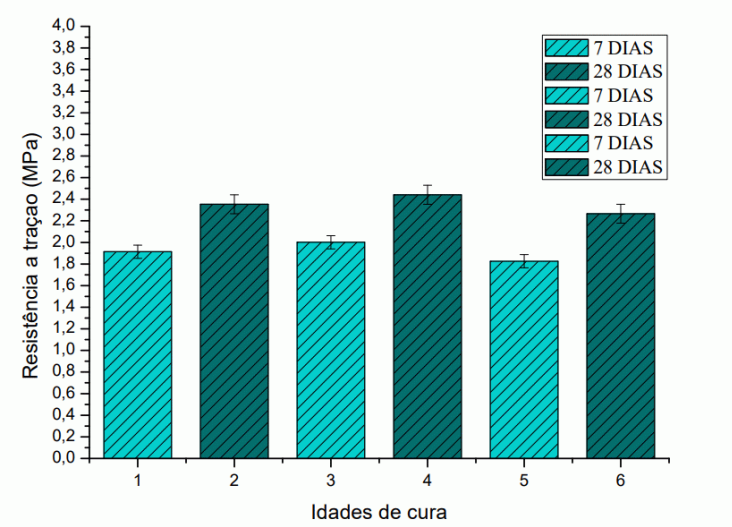


Gráfico 2 – Tração na flexão

Fonte: Autores

Em unidades de saúde, a integridade da superfície é uma barreira de biossegurança. Uma argamassa com boa resistência à flexão absorve pequenas movimentações da estrutura sem gerar fissuras capilares. Fissuras em revestimentos hospitalares, mesmo as microscópicas, tornam-se reservatórios de matéria orgânica e umidade, facilitando a sobrevivência de microrganismos multirresistentes que resistem aos protocolos de desinfecção de rotina. Hospitais possuem tráfego intenso de macas, carrinhos de suprimentos e equipamentos pesados que frequentemente colidem com as paredes. Argamassas que apresentam Rf (resistência à flexão) superior a 2,0 MPa demonstram maior resiliência a impactos mecânicos pontuais, reduzindo o risco de desplacamento do revestimento e mantendo a continuidade da assepsia das paredes (SOUZA e LIMA, 2023; OLIVEIRA, 2024).

3.4 Compressão axial

Os resultados de compressão estão apresentados no Gráfico 3. Diferente de uma argamassa de revestimento convencional (que costuma variar entre 5 e 20 MPa), esses resultados mostram um material bom para função estrutural ou de reparo. O fato de já atingirem quase 50 MPa aos 7 dias mostra uma cinética de hidratação muito rápida.

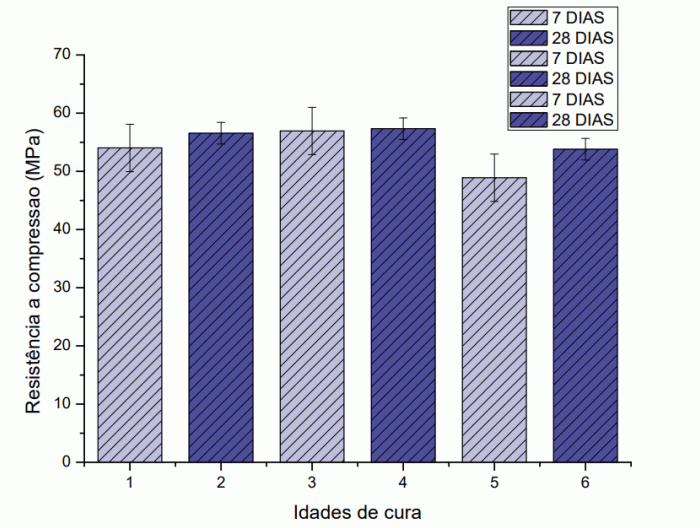


Gráfico 3 – Resistência à compressão

Fonte: Autores

As barras de erro, especialmente na amostra 3, podem indicar que alguns corpos de prova tiveram pequenas falhas internas ou vazios de ar aprisionado durante a moldagem, algo comum em misturas mais viscosas de alta resistência.

Em hospitais, paredes frequentemente recebem revestimentos pesados como placas de cerâmica de grandes formatos, painéis vinílicos ou proteção radiológica (barita). Uma argamassa com alta resistência à compressão é essencial para suportar essas cargas sem sofrer esmagamento ou fadiga. A elevada resistência à compressão em substratos hospitalares garante a estabilidade necessária para a colagem de revestimentos impermeáveis, evitando o descolamento que pode expor a alvenaria à contaminação biológica (FERREIRA, 2023).

3.5 Carbonatação

O ensaio de carbonatação foi realizado em ambiente de laboratório, visando verificar a vulnerabilidade da argamassa à penetração natural de CO_2. Após o período normatizado de 28 dias de cura, os corpos de prova foram submetidos ao indicador aspergido (fenolftaleína). Nenhum corpo de prova apresentou indício de carbonatação como podemos observar na Figura 5.

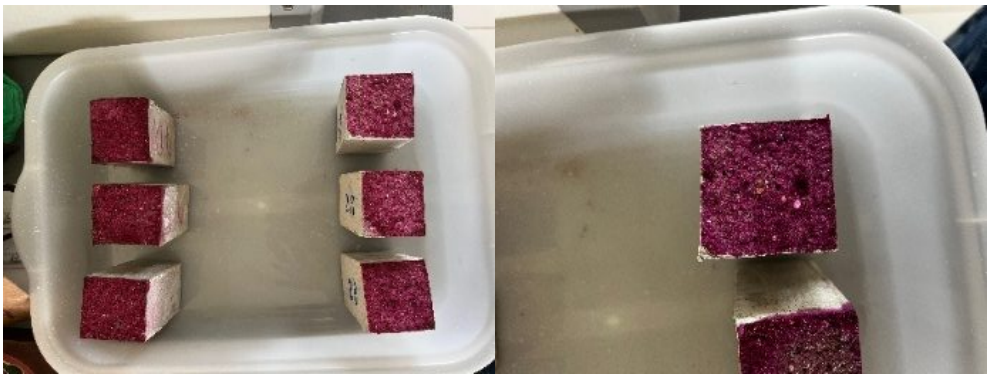


Figura 5 – Ensaio de carbonatação

Fonte: Autores

3.6 Simulação de Durabilidade em Meio Agressivo

A avaliação do desempenho das argamassas desenvolvidas baseou-se na correlação entre a evolução de sua integridade física, perda de massa, quando expostas a condições de severidade química apresentadas nos Gráficos 4 e 5.

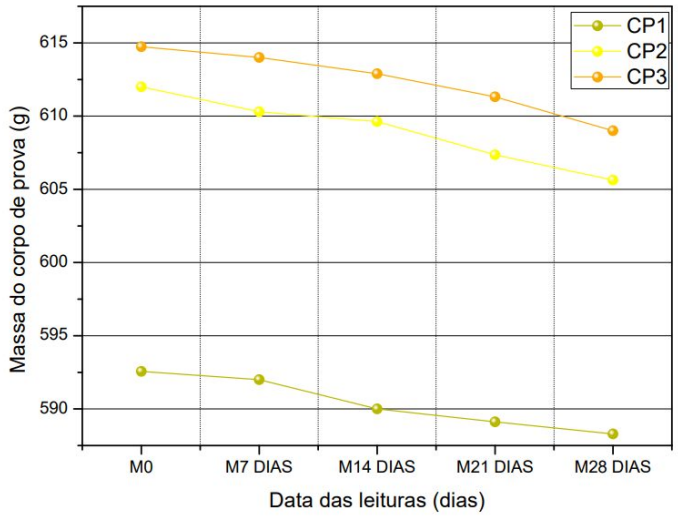


Gráfico 4 – Perda de massa ao longo do tempo com diluição 1:256

Fonte: Autores

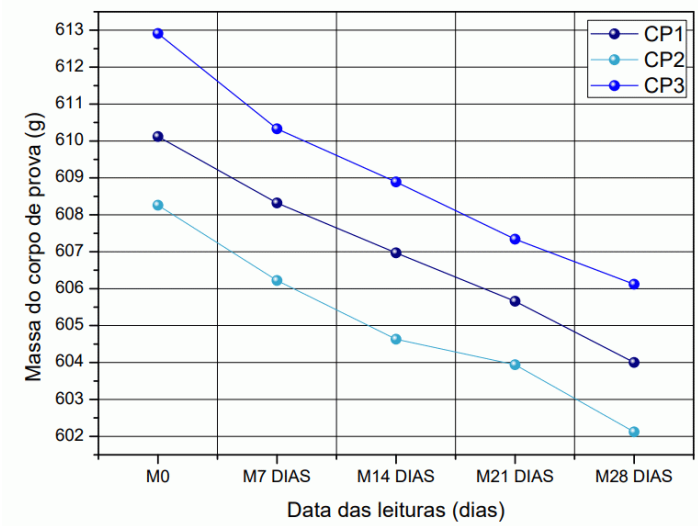


Gráfico 5 – Perda de massa ao longo do tempo com diluição 1:64

Fonte: Autores

O gráfico correspondente à diluição 1:256 (Gráfico 2) apresenta o comportamento das argamassas em um meio agressivo menos concentrado. Todas as amostras (CP1, CP2 e CP3) exibem uma tendência constante de redução de massa desde a leitura inicial (M0) até os 28 dias. A redução de massa neste cenário é moderada, variando aproximadamente entre 4g e 6g ao final do ciclo. Por exemplo, o CP3 inicia próximo a 615g e finaliza o ensaio ligeiramente abaixo de 610g. Embora haja perda de material, a inclinação das curvas sugere uma taxa de ataque químico menos severa quando comparada à diluição mais forte (1:64).

O gráfico revela uma redução de massa constante e linear para os três corpos de prova (CP1, CP2 e CP3) ao longo dos 28 dias, uma perda total de aproximadamente 4g a 5g (menos de 1% da massa

total). Observou-se que a redução de massa é um indicador direto da lixiviação dos compostos de cálcio (Portlandita), como mostrado na Figura 6, provocada pela interação química com o peróxido de hidrogênio (10%) e o quaternário de amônia (6%), princípios ativos do saneante utilizado nos ensaios, presente no produto de limpeza. No cenário de maior severidade (Diluição 1:64), a perda constante sugere uma descalcificação superficial que, embora inferior a 1% em termos absolutos, promove o aumento da rugosidade e porosidade da face externa do reparo. Em um ambiente de alta assepsia como o HUJBB, essa alteração microestrutural é crítica, pois a perda de massa atua como um precursor para a formação de nichos de colonização microbiológica, comprometendo a vida útil da intervenção e a biossegurança do ambiente hospitalar. A taxa de degradação linear alerta para a necessidade de rigor nos protocolos de higienização para evitar a desestruturação precoce da matriz cimentícia.



Figura 6 – Corpo de prova degradado pelo agente de diluição 2
Fonte: Autores

Conforme aponta Souza e Lima (2023), a avaliação temporal em ciclos curtos é a ferramenta mais eficaz para detectar o início da lixiviação dos compostos hidratados da pasta de cimento antes que ocorra a falha estrutural do revestimento. A renovação periódica das soluções foi rigorosamente observada para manter o potencial químico dos agentes agressores constante, mimetizando a aplicação de novos saneantes a cada ciclo de limpeza hospitalar. A manutenção da concentração do agente agressor em ensaios de imersão é vital para que os resultados não sejam subestimados pela neutralização do pH da solução pela própria alcalinidade da argamassa (OLIVEIRA, 2024).A comparação entre a Diluição 1 e a Diluição 2 demonstra que a velocidade de alteração de massa está diretamente correlacionada à concentração do princípio ativo. O monitoramento a cada sete dias permitiu identificar que, em concentrações mais elevadas (Diluição 2), a interação química inicial é mais intensa, resultando em uma maior variação de massa nos primeiros 14 dias. A dosagem incorreta de saneantes em ambientes de saúde pode atuar como um catalisador de manifestações patológicas em revestimentos, onde o excesso de agentes químicos acelera a descalcificação da pasta de cimento, comprometendo a vida útil do acabamento (SOUZA; LIMA, 2023).

Os resultados confirmam que a argamassa apresentou estabilidade química frente à Diluição 1, com perda de massa inferior a 1%, não apresentando sinais visuais de desagregação ou alteração

sensorial na superfície conforme critérios da ASTM C267 (2020), mantendo sua integridade estrutural. Contudo, a variação observada na Diluição 2 serve de alerta para o controle de protocolos de limpeza, uma vez que o aumento da porosidade superficial pode facilitar a retenção de carga orgânica. A durabilidade química de um material hospitalar é um pré-requisito para a biossegurança, revestimentos que sofrem alteração de massa excessiva em ensaios de imersão tendem a apresentar maior rugosidade ao longo do tempo, tornando-se reservatórios para patógenos multirresistentes (SANTOS *et al*., 2022).

4. CONCLUSÃO

A investigação experimental da argamassa industrializada de alto desempenho demonstrou que o material apresenta propriedades físicas e mecânicas, tornando-o um excelente candidato para reparos estruturais e revestimentos em ambientes hospitalares na região amazônica. A fluidez observada no ensaio de mini-slump facilita a aplicação em áreas de difícil acesso, garantindo um preenchimento homogêneo sem a necessidade de vibração excessiva, o que preserva a integridade das estruturas históricas remanescentes. O baixo coeficiente de capilaridade e a elevada densidade confirmam a formação de uma matriz densa. Esta característica é vital para o contexto do Hospital Barros Barreto, pois minimiza a infiltração da umidade equatorial e impede a penetração de agentes saneantes agressivos e microrganismos na estrutura. Os valores de resistência à compressão e tração na flexão (alcançando quase 50MPa em resistência a compressão e acima de 2,0 MPa em tração aos 28 dias) garantem que o reparo suporte tanto as cargas estáticas de revestimentos pesados quanto os impactos dinâmicos cotidianos (macas e equipamentos), reduzindo a incidência de fissuras que servem de nicho para patógenos. A ausência de carbonatação nos testes iniciais, aliada à baixa porosidade, indica que o material atua como uma barreira química eficaz, garantindo proteção ao aço estrutural contra a corrosão, fator crítico em edificações antigas e degradadas.O material testado mostrou-se compatível com as exigências de um ambiente que demanda assepsia rigorosa e resistência a intempéries tropicais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado no estado fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2**: Concreto

autoadensável. Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de abatimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 93 p.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM C267**: Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacings and Polymer Concretes. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020.

FERREIRA, C. *et al*. Estudo do comportamento de pastas produzidas com diferentes cimentos e aditivo superplastificante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 66., 2025, Curitiba. **Anais** [...]. São Paulo: IBRACON, 2025.

FERREIRA, A. J. **Adesão e Coesão de Argamassas em Áreas Críticas de Saúde**. São Paulo: Ed. Técnica Nacional, 2023.

FRANÇA, A. J. S. de *et al*. Estudo da aderência de argamassas de reparo em substratos de concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 60., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. São Paulo: IBRACON, 2018.

FREITAS, V. P. de. **Humidade em paredes de edifícios**. 1992. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1992.

GEOCZE, M. R.; BORGES, P. S. R. Avaliação da resistência de argamassas de revestimento ao ataque químico. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, 2018.

KANTRO, D. L. Influence of Water-Reducing Admixtures on Properties of Cement Paste - A Miniature Slump Test. **Cement, Concrete and Aggregates**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 95-102, 1980.

OLIVEIRA, F. A. Desempenho mecânico de argamassas industrializadas sob solicitações dinâmicas em unidades de saúde. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, 2024.

QUINTELA, M. **Durabilidade de revestimentos exteriores de parede em reboco monocamada**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.

SANTOS, L. M. *et al*. Influência da porosidade de materiais cimentícios na colonização microbiológica em unidades de saúde. **Revista Brasileira de Engenharia Clínica**, 2022
.
SILVA, J. R.; OLIVEIRA, P. H. Durabilidade de revestimentos internos em ambientes agressivos: Estudo de caso em hospitais públicos. **Jornal de Construção Civil e Patologias**, 2021.

SOUZA, M. G.; LIMA, R. T. **Durabilidade e Higienização**: O impacto dos saneantes nas estruturas cimentícias hospitalares. 2. ed. São Paulo: Editora Saúde e Edificações, 2023.

SOUZA, M. G.; LIMA, R. T. **Engenharia de manutenção hospitalar**: a relação entre revestimentos e controle de infecção. [S. l.]: Editora Saúde e Edificações, 2023.

CAPÍTULO 32 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/6brrdk16
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/dbs37y80

ESTUDO DO DESEMPENHO DE ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITES (ECC) COM CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO SOLUÇÃO DE RECAPEAMENTO DE PAVIMENTOS

Débora Pedroso Righi[1]*, Thiago Favarini Beltrame Luiz[2]; Carlos Pinto da Silva Filho[3]
*Autor de contato: righi.p.debora@gmail.com
[1] Departamento de Engenharia Civil, LEME - UFRGS, Porto Alegre, Brasil
[2] Departamento de Engenharia Civil, Faculdade FTEC, Porto Alegre, Brasil
[3] Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

ECC - Engineered Cementitious Composites, ou concretos flexíveis (*bendable concretes*), são uma classe especial de compósitos cimentícios avançados, inicialmente propostos pelo Professor Victor Li, com matrizes projetadas e incorporação de fibras, desenvolvidos para produzir materiais mais duráveis e com melhor desempenho. Com base nesse conceito, mas com o objetivo de reduzir custos e aumentar o desempenho ambiental, este trabalho investiga a possibilidade de utilizar cinza de casca de arroz, um subproduto local muito comum em alguns países, como material cimentício suplementar para produzir misturas de ECC mais sustentáveis. A CCA foi moída por 4 e 8 horas para melhorar sua atividade pozolânica, uma vez que a cinza utilizada foi originada de processos de queima não controlados, o que gera um resíduo menos homogêneo, porém mais ambientalmente amigável e economicamente atrativo. O comportamento mecânico, em termos de resistência à flexão e à tração, foi avaliado. Também foram analisadas a resistência ao trincamento reflexivo, uma vez que esses ensaios fornecem indicações do comportamento potencial do material quando utilizado na reabilitação de pavimentos. Os resultados mostraram que as misturas com CCA apresentam desempenho semelhante ao das misturas de ECC de referência com materiais cimentícios tradicionais, apresentando uma curva de encruamento por deformação (*strain hardening*) bem definida e o comportamento esperado de fissuração múltipla. Não foram observadas diferenças significativas entre as misturas com cinza moída por 4 e 8 horas. Portanto, recomenda-se o uso de CCA moída por 4 horas, pois reduz o consumo de energia e o tempo de moagem.

Palavras-chave: ECC; cinza de casca de arroz; reabilitação pavimentos.

ABSTRACT

ECC – Engineered Cementitious Composites, or bendable concretes, are a special class of advanced cementitious composites, initially proposed by Professor Victor Li. They consist of designed matrices with fiber incorporation, developed to produce materials with greater durability and improved performance. Based on this concept, but aiming to reduce costs and improve environmental performance, this study investigates the possibility of using rice husk ash, a local by-product very common in some countries, as a supplementary cementitious material to produce more sustainable ECC mixtures. The RHA was ground for 4 and 8 hours to improve its pozzolanic activity, since the ash used originated from uncontrolled burning processes, which generate a less homogeneous residue, but one that is more environmentally friendly and economically attractive. The mechanical behavior, in terms of flexural and tensile strength, was evaluated. Reflective cracking resistance was also analyzed, since these tests provide indications of the potential behavior of the material when used in pavement rehabilitation. The results showed that mixtures with RHA present performance similar to that of reference ECC mixtures with traditional cementitious materials, showing a well-defined strain-hardening curve and the expected multiple cracking behavior. No significant differences were observed between mixtures with ash ground for 4 and 8 hours. Therefore, the use of RHA ground for 4 hours is recommended, as it reduces energy consumption and grinding time.

Keywords: ECC; rice husk ash; pavement rehabilitation.

1. INTRODUÇÃO

Os Engineered Cementitious Composites (ECC) são uma geração especial de compósitos cimentícios reforçados com fibras de alto desempenho que foram concebidos através dos princípios da micromecânica. Possuindo uma adição máxima de 2% de fibras em relação ao volume total, esses compósitos foram projetados para resistir a altas tensões de tração e elevadas cargas de cisalhamento. Uma das características mais inerentes a esse material é a alta ductilidade que proporcionam à estrutura (LI, 2003). O ECC apresenta uma alta capacidade de deformação pós-pico de carregamento, cujo comportamento foi denominado de strain-hardening. Este comportamento proporciona o desenvolvimento de múltiplas fissuras através da transferência de carregamentos entre as fibras existentes

Devido a sua elevada ductilidade, o ECC possui uma elevada capacidade de absorção de energia e alta capacidade de deformação sob carregamentos de tração, resultando na formação de diversas múltiplas fissuras de pequena espessura durante o processo de ruptura deste compósito. Para se alcançar esta alta ductilidade, é dispensado o uso de agregados graúdos na mistura, apenas uma pequena quantidade de areia fina é aplicada na matriz para controlar a tenacidade da mesma. É importante também controlar a resistência da matriz no ECC, conforme onde a baixa resistência da matriz resulta em um aumento da capacidade de tensão da fibra, assim proporcionando o efeito chamado de múltipla fissuração (WANG, LI, 2007).

Uma das aplicações propostas é na reabilitação de pavimentos rígidos, devido ao potencial de evitar o trincamento reflexivo, um problema sério geralmente encontrado quando se utilizam revestimentos de concreto tradicionais não aderidos (overlays) (QIAN et al., 2013; ZHAO et al., 2015). Outras características do ECC, como controle de fissuração por retração, elevada resistência e durabilidade, além da possibilidade de aplicação em camadas delgadas, também são atrativas. Soma-se a isso o fato de que as juntas podem ser reduzidas ou até mesmo eliminadas, conforme sugerido por Qian et al. (2013).

Zhang et al. (2016), que estudaram a viabilidade da aplicação do ECC, indicam que o material pode resultar em um revestimento mais sustentável, com menor espessura quando comparado às estruturas convencionais de revestimento de tabuleiros de pontes. O uso de ECC como uma boa solução para revestimentos de pavimentos de concreto também foi relatado por Zhao et al. (2015).

O ECC tem sido estudado principalmente com o uso de fibras de álcool polivinílico (PVA) (SAID et al. 2015, LIN et al. 2015), embora alguns estudos tenham se baseado no uso de outras fibras (HALVAEI et al. 2012, RATHOD E PATODI, 2010), como polietileno, polipropileno, poliéster, acrílico, náilon e aço, e alguns estudos consideraram o uso de uma mistura de fibras para melhorar a resistência ao impacto.

Neste trabalho, fibras de polipropileno foram escolhidas para reforçar o ECC, devido ao menor custo e maior disponibilidade desse tipo de fibra no mercado brasileiro, e aos bons resultados obtidos em estudos anteriores (Garcez et al. 2011). No Brasil, trabalhos de pesquisa muito promissores têm sido realizados utilizando cinzas de casca de arroz como material de adição ou substituto do cimento (RIGHI et al. 2017, COSTA et al. 2019). Possui boa atividade pozolânica, melhor capacidade de retenção de cloreto e bom comportamento reológico. Também se adapta bem à economia local, oferecendo a possibilidade de agregar valor e dar destino a um grande volume de resíduos gerados pela indústria arrozeira. Muitas empresas arrozeiras utilizam a casca de arroz como combustível para geração de energia e/ou vapor. Geralmente, são empresas de pequeno porte

e não possuem processos para reutilizar ou descartar corretamente as cinzas geradas pelo processo de combustão.

A cinza da casca de arroz geralmente apresenta em sua composição dióxido de silício, ou comumente denominado sílica (SiO2), carbono (C), óxido de potássio (K2O), óxido fosfórico (P2O5), óxido de cálcio (CaO) e também, em menores quantidades, compostos de magnésio (Mg), ferro (Fe) e sódio (Na). A combustão da casca de arroz leva a cinzas com alto teor de sílica, com formas estruturais variáveis (amorfa e/ou cristalina). A quantidade de sílica e a forma estrutural dependem, entre outros fatores, do tipo de equipamento utilizado para queimar a casca de arroz, do intervalo de tempo em que a casca permanece dentro do forno, da temperatura de queima e da taxa de resfriamento das cinzas (Machado et al. 2007).

Com o objetivo de reduzir o impacto ambiental causado pelo alto teor de cimento, bem como controlar a ligação química entre as fibras e a matriz, esta pesquisa foi desenvolvida considerando o uso de cinza de casca de arroz não processada (CCA) como substituição parcial do cimento em misturas de ECC. Para contribuir com o estudo da aplicação desse material como revestimento (overlay) de concreto, os resultados são apresentados em termos de comportamento à tração e à flexão, bem como do desempenho quanto à resistência ao trincamento reflexivo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os principais componentes da matriz de ECC são cimento Portland, areia fina, cinza de casca de arroz, água e aditivo superplastificante. O cimento Portland utilizado para a produção dos ECCs foi o CP V-ARI de alta resistência inicial, com sua massa específica de 3,11 g/cm³, diâmetro médio de 9,65 μm e perda ao fogo de 3,06%. A areia utilizada foi de origem natural, tipo quartzoza, com massa específica de 2,52 g/cm³, módulo de finura de 0,67 e diâmetro máximo de 0,3.

No estudo, foi usado o aditivo superplastificante com base de éter policarboxílico. Este tipo de aditivo possui alta eficiência na redução de teor de água, comparado com os mais comumente utilizados. Fibras de polipropileno foram incorporadas como fibras de reforço a matriz cimentícia do ECC. Com um custo baixo, as fibras de polipropileno possuem características especificas destacando-se perante as outras. Essas se devem a sua cadeia polimérica, a qual afeta diretamente a sua resistência e o seu comportamento. O polipropileno caracteriza-se por ser um plástico inodoro, incolor e atóxico tendo uma densidade de 900 kg/cm³. Neste estudo foi estudada a porcentagem de 2% de fibras de polipropileno do volume total com alta tenacidade, suas propriedades estão destacadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades da Fibra de Polipropileno

Características	
Densidade (g/cm³)	0,91
Comprimento (mm)	10,00
Diâmetro (μm)	12,00
Resistência à Tração (MPa)	850,00
Alongamento na Ruptura (%)	21,00

Fonte: os autores.

A cinza de casca de arroz (CCA) de queima sem controle de temperatura utilizada neste trabalho foi utilizada como combustível no processo de parbolização dos grãos de arroz. Esta queima se processa de maneira instantânea em fornalhas com grelhas, resultando como rejeito deste processo, uma cinza de cor predominantemente preta ou cinza escuro.

A CCA teve sua granulometria reduzida, utilizando-se um moinho de bolas com dimensões de 310 mm de altura e diâmetro de 275 mm contendo 75 bolas de 38 mm de diâmetro. Foi moído 1 quilo de CCA por vez nos tempos de 4 e 8 horas, realizando-se, desse modo, a moagem com o intuito de aumentar a finura da cinza. A composição química e as propriedades físicas das cinzas de casca de arroz estudadas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades químicas e físicas da CCA

Composição Química (%)	CCA (4 horas)	CCA (8 horas)
SiO_2	63,26	65,83
K_2O	1,46	1,07
CaO	0,73	0,44
P_2O_5	0,52	0,33
Fe_2O_3	0,32	0,34
MnO	0,30	0,27
SO_3	0,18	0,05
Al_2O_3	0,13	0,06
MgO	0,12	0,08
CO_2	32,71	31,33
Propriedades Físicas		
Massa específica (g/cm³)	2,03	2,06
Tamanho médio do grão (µm)	7,29	3,59
Perda ao fogo (%)	19,44	13,99
Atividade pozolânica (%)	174,37	162,48

Fonte: os autores.

2.2 Mistura e moldagem dos corpos-de-prova

A mistura dos materiais do ECC foi realizada em um misturador mecânico planetário especial para argamassas com capacidade de 2 litros. Os materiais secos (cimento; areia e CCA) foram colocados no misturador e misturados até se obter uma mistura de pós uniforme. Após procedeu a adição da água de amassamento e do aditivo super plastificante.

A pasta obtida nesta etapa de mistura é extremamente fluida, de modo a permitir a completa dispersão das fibras. Após a adição das fibras, foram necessários 3 minutos de rotação em velocidade elevada para garantir sua total dispersão.

2.3 Programa experimental

Neste programa experimental foram analisadas sete misturas de ECC, das quais seis foram preparadas para investigar o potencial da CCA em matrizes de ECC. Na Tabela 3 está descrito os traços utilizados com suas proporções, e com dois tipos de CCA, uma moída por quatro horas, adotada a nomenclatura de CCA 4 horas e a outra moída por 8 horas com a nomenclatura de CCA 8 horas. Para estes dois tipos de CCA, foram estudadas porcentagens de substituição de cimento

por CCA de 10%, 20% e 30% com substituição em volume. Os ensaios mecânicos foram realizados aos 28 dias.

Tabela 3 - Dosagem dos Traços Estudados

Nomenclatura	Descrição	CP-V	CCA	Areia Fina	Fibra PP	Aditivo	Água
ECC-REF	Referência	1009,16	/	757,53	17,90	7,05	348,55
4CCA10	10% CCA 4 horas	908,24	65,87	757,53	17,90	7,05	348,55
4CCA20	20% CCA 4 horas	807,32	131,74	757,53	17,90	7,05	348,55
4CCA30	30% CCA 4 horas	706,41	197,61	757,53	17,90	7,05	348,55
8CCA10	10% CCA 8 horas	908,24	68,14	757,53	17,90	7,05	348,55
8CCA20	20% CCA 8 horas	807,32	136,28	757,53	17,90	7,05	348,55
8CCA30	30% CCA 8 horas	706,41	204,43	757,53	17,90	7,05	348,55

Fonte: os autores.

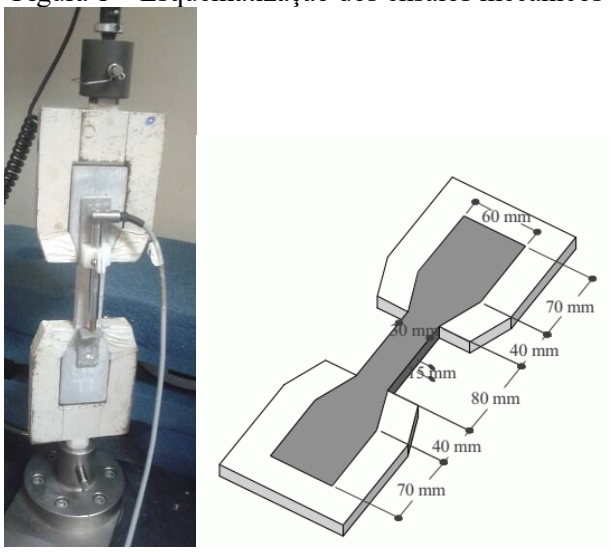
Com o intuito de avaliar o desempenho mecânico dos ECCs com CCA foram realizados ensaios de tração direta e flexão à quatro pontos, e para avaliar o ECC como camada de overlay para pavimentos foi realizado o ensaio de reflexão de fissuras. Para avaliar a tração direta este estudo seguiu o proposto por Boshoff e Zijl (2005) com velocidade de carregamento de 5 N/s, onde as dimensões dos corpos-de-prova e a execução do ensaio são apresentados na Figura 1.

O ensaio de flexão que foi utilizado nesta pesquisa foi baseado em Magalhães (2010), o ensaio tem como base a Norma ASTM C1609 (2019), realizados em quatro pontos do corpo de prova. Os corpos-de-prova tem dimensões de 300mm x 70 mm x 15 mm onde a carga aplicada concentra-se igualitariamente dividida entre os dois terços do vão, a uma distância de 77 mm dos apoios e o vão possui 231 mm de distância entre os apoios, cada corpo-de-prova possui dois LVDTs para medir o deslocamento, um posicionado na vertical e outro na horizontal.

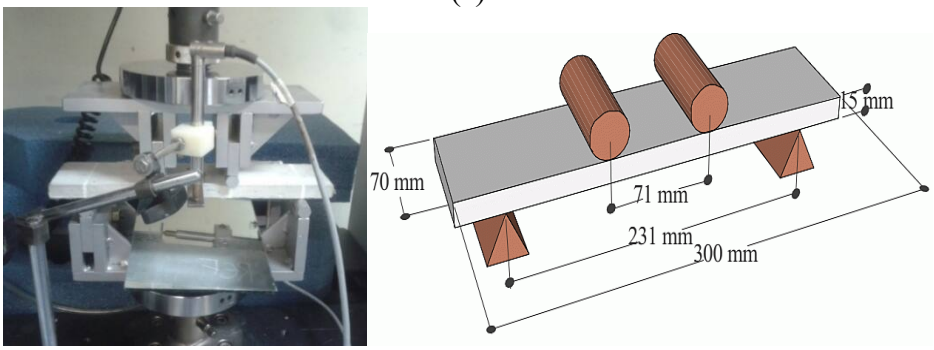
Para o ensaio de reflexão de fissuras, com o objetivo de investigar a influência da ductilidade na resistência à fissuração refletiva do compósito, utilizou-se o método de Qian (2007), por meio de ensaio de flexão estática. Para esse ensaio, foram moldados ECCs que apresentaram o melhor desempenho nos ensaios de tração direta e de flexão a quatro pontos, considerando os dois tipos de CCA moídas. Os corpos de prova foram formados por duas camadas – ECC e substrato de concreto –, constituindo vigas compostas. As bases dos corpos de prova, com dimensões de 355 × 150 × 50 mm, também foram moldadas com o mesmo concreto usual para pavimentos, com classe de resistência C30.

Após o processo de desmoldagem e um período de cura de 14 dias, foi realizado um corte transversal na região central, com o auxílio de uma serra diamantada, resultando em dois blocos de 355 x 75 x 50 mm. Esses dois blocos serviram de base para a aplicação do ECC na espessura de 5 cm. A Figura 1 detalha a configuração de ambos os ensaios de tração direta (a), flexão à quatro pontos (b) e reflexão de fissuras (c).

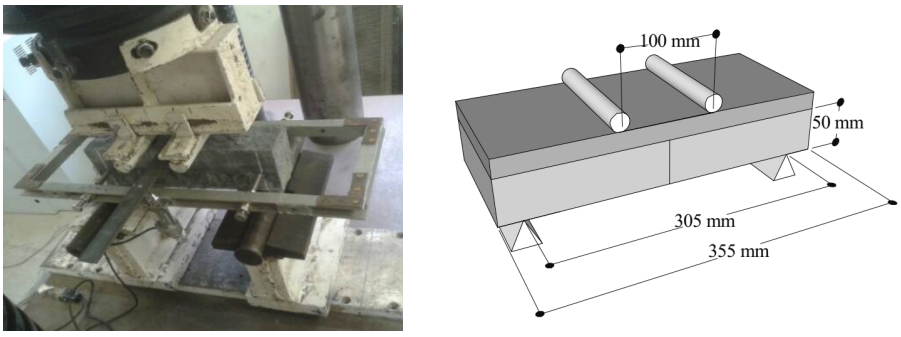
Figura 1 – Esquematização dos ensaios mecânicos



(a)



(b)



(c)

Fonte: os autores.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Resistência à tração direta

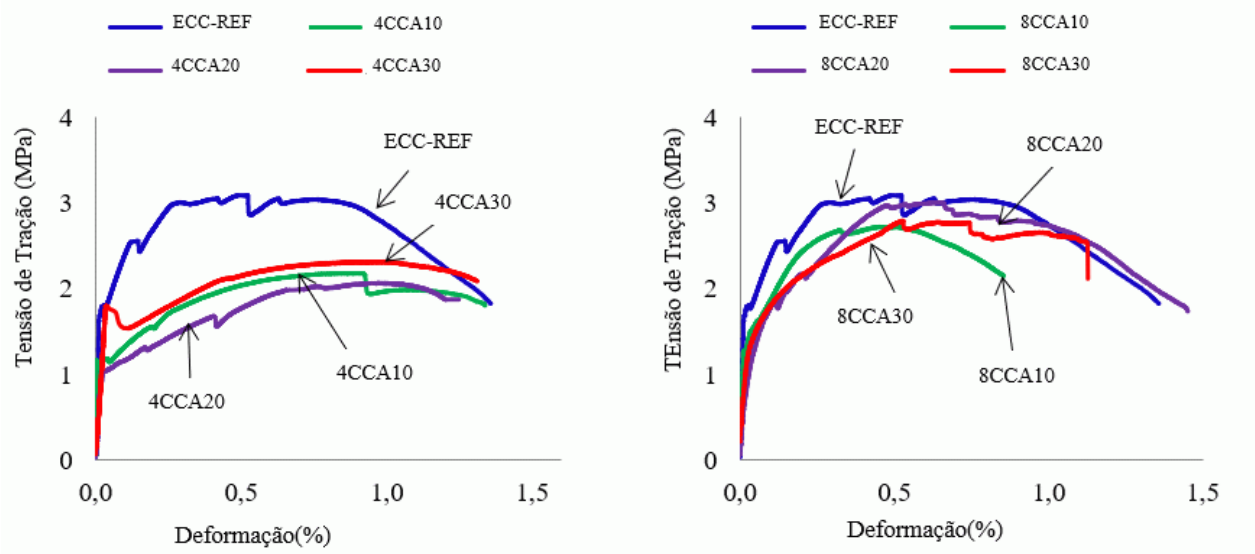
Os resultados dos ensaios de tração uniaxial das misturas com cinza de casca de arroz moída por 4 horas são apresentados na Figura 2 (a) e na Tabela 4. Observa-se um aumento efetivo na capacidade de deformação do compósito após o aparecimento da primeira fissura. Todas as misturas de ECC com CCA moída por 4 horas demonstram uma abertura da primeira fissura em tensões de tração que variam de 0,92 a 1,64 MPa em 28 dias.

As misturas com CCA moída por 4 horas apresentaram uma pequena perda de desempenho em relação ao ECC-baseline, as misturas apresentam o processo de strain-hardening com tensões máximas em torno de 2,06 a 2,26 MPa, tensões estas reduzidas em relação ao ECC-baseline que foi de 3,09 MPa. O traço 4CCA10 (10% de substituição) apresentou o processo de múltipla fissuração com tensão máxima em torno de 2,18 MPa e uma deformação de 1,3%. O traço 4CCA20 (20% de substituição) apresentou uma perda de desempenho em relação às outras porcentagens, tendo uma abertura da primeira fissura de 0,92 MPa, resultado inferior as outras misturas com CCA com 4 horas de moagem.

Já o traço 4CCA30 (30% de substituição) apresentou o melhor desempenho entre essas misturas, com uma tensão máxima de 2,26 MPa e uma deformação de 1,3%. Nota-se, ainda, que a múltipla fissuração não é tão notável como no ECC-REF; em contrapartida, a capacidade de deformação supera a do ECC-REF.

Para as misturas com CCA com 8 horas de moagem (Figura 2 (b)) observa-se um aumento na deformação. Este aumento de deformação deve-se ao processo de strain-hardening o qual gera múltiplas pequenas fissuras durante o carregamento da estrutura. Isto ocorre devido às pontes de transferência da tensão entra as fibras espalhadas por todo o compósito. Na Tabela 4 é possível perceber que as deformações das misturas com CCA moída por 8 horas é de 1,1 a 1,4 %, muito semelhante ao ECC-REF. Já o traço 8CCA10 demonstra uma perda de desempenho significativa em relação as outras porcentagens, a múltipla fissuração não se mostra evidente, a abertura da primeira fissura inicia-se com 1,14 MPa e sua tensão máxima chega a 2,67 MPa.

Figura 2 – Curva tensão x deformação – tração direta (a) CCA 4 horas (b) CCA 8 horas



Fonte: os autores.

O traço 8CCA20 apresentou comportamento muito semelhante ao ECC-REF, com múltipla fissuração bem visível. A primeira fissura teve início com uma tensão de 1,85 MPa e uma deformação de 1,4%. Para a mistura 8CCA30, a abertura da primeira fissura ocorreu em uma deformação maior que a observada nos demais traços, com uma tensão também superior, de 2,78 MPa, valor igualmente superior ao do ECC-REF. A múltipla fissuração é bem evidente nessa mistura, que apresentou tensão máxima de 2,76 MPa e deformação de 1,1%.

Tabela 4 – Tensão x deformação – tração direta

Nomenclatura	Descrição	Abertura 1ª Fissura (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Deformação (%)
ECC-REF	Referência	1,8 ± 0,2	3,09 ± 0,1	1,2 ± 0,3
4CCA10	10% CCA 4 horas	1,09 ± 0,4	2,18 ± 0,2	1,3 ± 0,2
4CCA20	20% CCA 4 horas	0,92 ± 0,2	2,06 ± 0,5	1,1 ± 0,1
4CCA30	30% CCA 4 horas	1,64 ± 0,3	2,26 ± 0,3	1,3 ± 0,2
8CCA10	10% CCA 8 horas	1,14 ± 0,1	2,67 ± 0,4	1,4 ± 0,2
8CCA20	20% CCA 8 horas	1,85 ± 0,6	3,01 ± 0,3	1,4 ± 0,5
8CCA30	30% CCA 8 horas	2,78 ± 0,2	2,76 ± 0,1	1,1 ± 0,4

Fonte: os autores.

4.2 Resistência à tração na flexão

A Figura 3 apresenta os resultados do ensaio de flexão a quatro pontos, e a Tabela 5 apresenta os resultados quantitativos das duas CCAs estudadas. Para os traços com utilização de cinza de casca de arroz, percebe-se que as deformações ocorreram sob tensões ligeiramente acima ou abaixo daquelas observadas para o ECC-REF, com valores médios em torno de 8 MPa. Além disso, à medida que se aumentou o teor de substituição, observou-se um ganho nas deformações últimas. Esse comportamento pode ser atribuído à presença das partículas da cinza, que contribuem para a melhoria do desempenho na dispersão das fibras.

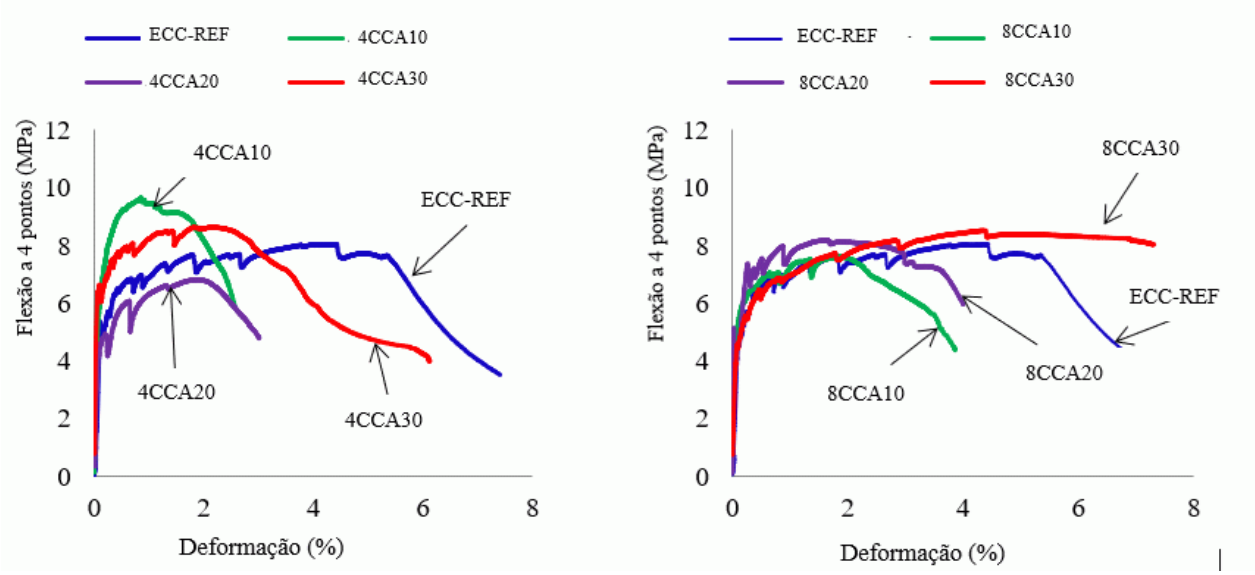
Segundo Kim et al. (2007), a dispersão das fibras provém da melhora na trabalhabilidade. Esta tendência, no entanto, deve ser verificada através da realização de ensaios de dispersão de fibras, os quais não foram realizados no presente trabalho. O autor ainda comprova a obtenção de um aumento da deformação em seus compósitos com a utilização de escória de alto forno. Para demonstrar a hipótese de que as partículas fornecem uma força motriz para a dispersão das fibras e consequentemente alta capacidade de deformação, foi realizado um teste de dispersão da fibra, através da análise de uma imagem binária convertida em imagem transversal fluorescente. Os resultados dos testes indicaram que os compósitos com escória possuíram coeficientes de distribuição mais elevados, demonstrando a distribuição mais homogênea das fibras. Segundo o autor, o resultado sugere que a contribuição das partículas da escória para a trabalhabilidade supera o efeito de diminuição do potencial de múltiplas fissurações.

A mistura 4CCA10 (Figura 3(a)) apresenta uma tensão máxima superior à do ECC-REF, em torno de 9,59 MPa. Em contrapartida, esse traço apresentou uma deformação menor que a dos demais traços estudados, com valor máximo de 2,4%. O processo de múltipla fissuração não é evidente para esse traço, e acredita-se que esse comportamento possa ser explicado pelo deslizamento das fibras na matriz cimentícia.

O traço de 4CCA20 obteve um comportamento muito semelhante ao traço de 4CCA10, com uma tensão máxima de 6,8 MPa e a abertura de fissuras em 4,20 MPa como visto na Tabela 5. O traço de 4CC30 apresenta o comportamento strain-hardening bem evidente, o processo de costura gerado pelas fibras permitiu que o comportamento de fissuração múltipla se desenvolvesse. Esta mistura obteve uma deformação máxima de 8,58 MPa superior ao ECC-REF e uma deformação de 5,8%.

Este traço se mostra uma alternativa viável visando ao ganho de sustentabilidade ambiental. A porcentagem de 30% já favorece muito a diminuição do uso de cimento e a moagem de 4 horas se torna mais viável devido ao menor consumo de energia para a moagem.

Figura 3 – Curva tensão x deformação – flexão a 4 pontos (a) CCA 4 horas (b) CCA 8 horas



Fonte: os autores.

Para as misturas com CCA moída por 8 horas, é possível notar que o processo de múltipla fissuração se desenvolve de forma mais pronunciada à medida que se aumenta o teor de substituição. O traço 8CCA10 apresentou a abertura da primeira fissura em 4,52 MPa, e o comportamento strain-hardening foi desenvolvido, favorecendo o processo de múltipla fissuração, com deformação última de 3,9%. O traço 8CCA20 apresentou comportamento semelhante ao do traço 8CCA10, com abertura da primeira fissura em torno de 5 MPa e deformações últimas próximas de 3,6%. Além disso, essa mistura apresentou uma tensão máxima superior à do ECC-REF, atingindo 8,17 MPa.

O traço 8CCA30 apresentou um comportamento de múltipla fissuração bem evidente como mostra a Figura 3 (b). Percebe-se que as deformações ocorreram com a mesma tensão média do ECC-baseline, sendo elas na média de 8,49 MPa (Tabela 5). Também apresenta um ganho de deformações últimas em torno de 7,2%, superior ao ECC-REF. Este traço apresentou o melhor comportamento mecânico dos compósitos com cinza de casca de arroz, seu desempenho ficou muito semelhante ao ECC-REF.

Tabela 5 – Tensão x deformação – flexão a 4 pontos

Nomenclatura	Descrição	Abertura 1ª Fissura (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Deformação (%)
ECC- Linha de base	Linha de base	4,.79 ± 0,3	8,02 ± 0,1	5,8 ± 0,5
4RHA10	10% RHA 4 h	6,10 ± 0,4	9,54 ± 0,2	2,4 ± 0,1
4RHA20	20% RHA 4 h	4,20 ± 0,2	6,8 ± 0,5	2,8 ± 0,6
4RHA30	30% RHA 4 h	6,49 ± 0,6	8,58 ± 0,2	5,8 ± 0,2
8RHA10	10% RHA 8 h	4,52 ± 0,2	7,60 ± 0,3	3,9 ± 0,4
8RHA20	20% RHA 8 h	5,0 ± 0,5	8,17 ± 0,2	3,6 ± 0,1
8RHA30	30% RHA 8 h	4,26 ± 0,3	8,49 ± 0,2	7,2 ± 0,3

Fonte: os autores.

4.3 Reflexão de Fissuras

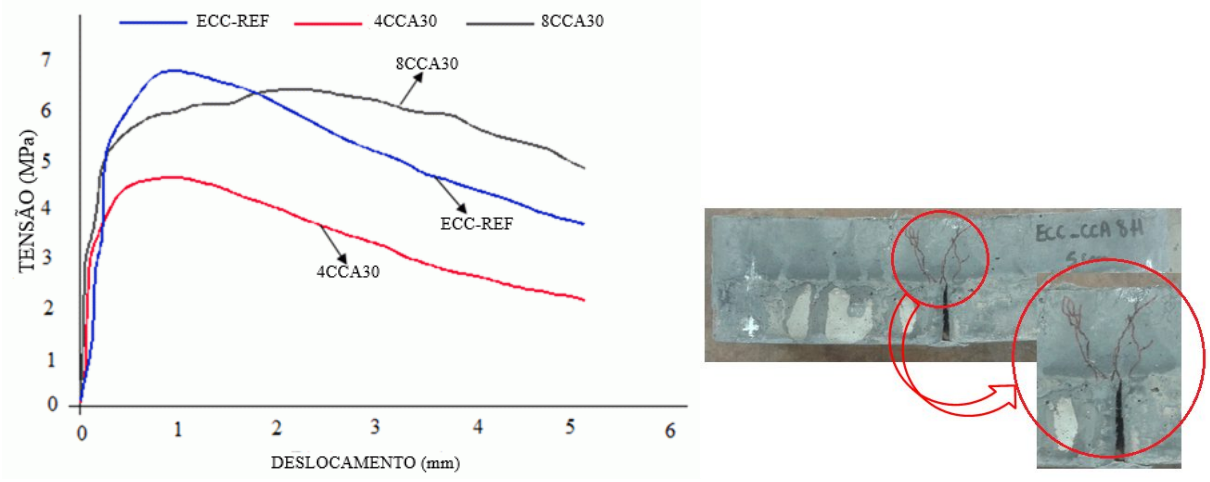
Os resultados em termos de carga × deslocamento vertical, obtidos nos ensaios de resistência à fissuração reflexiva, são apresentados na Figura 4(a). As curvas mostradas no gráfico representam a média de três amostras. Para os ECCs com CCA, tanto moída por 4 horas quanto por 8 horas, a porcentagem que apresentou melhor desempenho nos ensaios de tração direta e de flexão a quatro pontos foi de 30%. Assim, para o ensaio de reflexão de fissuras, foram moldados ECCs utilizando apenas essa porcentagem de substituição.

Para o ECC-REF, a carga máxima atingida pelos corpos de prova foi, em média, de 6,0 kN. Nota-se que a múltipla fissuração se desenvolve com melhor desempenho para menores deslocamentos. A partir de um deslocamento de 3,0 mm, observa-se uma perda de desempenho no desenvolvimento do comportamento strain-hardening. O traço 8CCA30 também atingiu uma carga máxima média de 6,0 kN, resultado semelhante ao observado para o ECC-REF. Observa-se, ainda, que a múltipla fissuração parece mais evidente em relação ao ECC-REF, sem perda de desempenho aparente. A abertura da primeira fissura ocorre para cargas em torno de 4,0 kN. Após a abertura da primeira fissura, percebe-se que o comportamento strain-hardening passa a se desenvolver no corpo de prova.

Para o traço 4CC30 é observada uma perda de desempenho em relação aos demais traços. A carga máxima encontrada para estes compósitos com CCA moída por 4 horas foi de 4,0 kN. A múltipla fissuração para este traço se desenvolve com curvas mais suaves e observa-se que a partir do deslocamento de 2,5 mm existe uma perda de desempenho.

A Figura 4 (b) mostra os padrões típicos de fissuração obtidos no ensaio. É possível observar que as fissuras se concentram próximas à fissura induzida na base de concreto. Observa-se também a ocorrência de fissuração múltipla, mesmo quando as fissuras atravessam toda a seção da camada de revestimento (overlay), o que pode levar a problemas de durabilidade do sistema caso as fissuras não sejam impermeáveis (LI e LI, 2011).

Figura 4 – (a) Gráfico



(a) (b)

Fonte: os autores.

A mistura 8CCA30 apresentou o melhor comportamento em termos de desempenho pós-fissuração. O ensaio de resistência à fissuração reflexiva demonstrou que o ECC pode aderir efetivamente à base de concreto, de modo que as fissuras originadas no ensaio de flexão ficaram concentradas próximas à ponta da fissura induzida na base de concreto. Esse é um resultado promissor em termos de desempenho potencial para o eventual uso do material como *overlay* em aplicações reais.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a utilização de cinza da casca de arroz (CCA) no ECC contribui para a preservação do meio ambiente, uma vez que esse resíduo deixa de ser destinado a aterros sanitários. Os resultados do ensaio de tração direta demonstraram que o percentual de 30% de cinza, independentemente do tempo de moagem, apresentou o melhor desempenho. No ensaio de flexão a quatro pontos, observou-se que a CCA contribuiu para o aumento da tenacidade da matriz, possibilitando a ocorrência do processo de múltiplas fissuras em todas as porcentagens de substituição, destacando-se novamente a substituição de 30%, que apresentou maiores deformações últimas. Mesmo que o ensaio de tração direta não seja utilizado diretamente para dimensionar camadas de recapeamento, ele fornece a base para entender o mecanismo de fissuração do material. Já a tração na flexão (módulo de ruptura) tem aplicação mais direta, pois representa melhor o estado de tensões que ocorre em campo, onde a camada está submetida a flexão devido às cargas de tráfego.

O ensaio de reflexão de fissuras indicou que o compósito, quando utilizado como material de reparo, é capaz de absorver esforços e apresentar boa aderência na interface compósito–concreto, mesmo em regiões de juntas do material. Além disso, os ensaios de caracterização mecânica dos ECCs demonstraram que o traço 8CCA30 apresentou os melhores resultados, evidenciando um desempenho mecânico superior ao ECC-REF. Em contrapartida, o traço 4CCA30 também apresentou resultados satisfatórios e, sob a perspectiva ambiental, mostra-se mais viável devido ao menor tempo de moagem necessário e, consequentemente, ao menor custo energético. De forma geral, o ECC desenvolvido no Brasil com a utilização de CCA e fibras de polipropileno mostrou-se viável para aplicação, apresentando o comportamento de strain-hardening, uma das principais características dos Engineered Cementitious Composites. Além disso, verifica-se a viabilidade da produção desse compósito com materiais disponíveis e fabricados no Brasil.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) por subsidiar financeiramente a realização deste trabalho. E ao Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) onde foi desenvolvida esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASTM International. ASTM C 1609: **Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading)**. United States, 2019.

BOSHOFF, W.P.; ZIZL, G. P. A. G. **Time-dependent response of ECC: characterization and modeling of creep and creep fracture**. *In*: INTERNATIONAL RILEM WORKSHOP ON HPFRCC IN STRUCTURAL APPLICATIONS, Honolulu. USA: RILEM Publications, PRO 49, p. 125-134, 2005.

LI, V. C. **Engineered Cementitious Composites (ECC): a review of the material and its aplications.** Journal of Advanced Concrete Technology, v.1, n. 3, p.215-230, 2003.

COSTA, F. B. P.; RIGHI, D. P.; GRAEFF, A. G.; SILVA FILHO, L. C. P. **Experimental study of some durability properties of ECC with a more environmentally sustainable rice husk ash and high tenacity polypropylene fibers.** Construction and Building Materials, v. 213, p. 505-513, 2019

GARCEZ, E. O.; YANG, E.; AND LI, V.C. **Development of pigmentable engineered cementitious composites for architectural elements through integrated structures and materials design.** Materials and Structures, v. online, p. 1-8. 2011

HALVAEI, M., JAMSHIDI, M., AND LATIF, M. **Application of low modulus polymeric fibers in engineered cementitious composites.** Journal of Industrial Textiles, v. 43, p. 511-524, 2012.

KIM, JIN-KEUN; KIM JEONG-SU; HA. G.; KIM, Y. **Tensile ande fiber dispersion performace of ECC (engineered cementitious composites) produced with groud granulated blast furnace slag**. Cement and Concrete Research, v.37, p. 1096-1105, 2007.

LI, M.; LI, V.C. **Cracking and healing of engineered cementitious composites under chloride environment.** ACI Materials Journal, v. 108, p. 333-340, 2011.

LIN, Y.W.; WOTHERSPOON, L.; INGHAM, J.M. **Tensile properties of an engineered cementitious composite shotcrete mix.** Journal of Materials in Civil Engineering, v. 27, p. 1-1, 2015

MACHADO, M.M.; ALFARO, E.F.; FERRO, W.P. **Estudo da viabilidade da substituição do talco por cinza da casca de arroz como carga em Polipropileno**, *In*: 9 CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 2007. **Anais** .Campina Grande, 2007.

QIAN, S.Z.; LI, V. C.; ZHANG, H.; KEOLEIAN, G. A. **Life cycle analysis of pavement overlays made with engineered cementitious composites.** Cement and Concrete Research, v. 35, p. 78-88, 2013.

QIAN, S.; LI, V.C. **Simplified inverse method for determining the tensile strength capacity of strain hardening cementitious composites.** Journal of Advanced Concrete Technology, v. 5, p. 235-246, 2007.

RIGHI, D.P., DA COSTA, F.B.; GRAEFF, A.G.; SILVA FILHO, L. C. P. **Tensile Behaviour and Durability Issues of Engineered Cementitious Composites with Rice Husk Ash**.Revista Matéria, v. 22 (2), p. 1–9, 2017.

SAID, S.H.; RAZAK, H.A.; OTHMAN, I. **Strength and deformation characteristics of engineered cementitious composite slabs with different polymer fibres.** Journal of Reinforced Plastics and Composites, v. 34, p. 1950-1962, 2015.

ZHANG, J.; WANG, Q.; WANG, Z. **Optimizing design of high strength cement matrix with supplementary cementitious materials.** Construction and Building Materials, v. 120, p. 123-136, 2016.

ZHAO, A.; YANG, J.; YANG, E.-H. **Self-cleaning engineered cementitious composites.** Cement and Concrete Composites, v. 64, p. 74-83, 2015.

RATHOD, J.D.; PATODI, S.C. **Interface tailoring of polyester-type fiber in engineered cementitious composite matrix against pullout.** ACI Materials Journal, v. 107, p. 114-122, 2010.

CAPÍTULO 33 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/01rgc542
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/k0697734

INFLUÊNCIA DA EXPOSIÇÃO AO AR E DA CURA IMERSA NA MICRODUREZA DO CIMENTO SUPERSULFATADO (CSS) SUBMETIDO À CARBONATAÇÃO NATURAL

Rafael Antonio Colla[1]*; Jeovana Thalheimer[1]; Isabel Cristina Magro[2]; Julia Kich de Ré[3]; Vitor Baldin[4] e Caroline Angulski da Luz[5]
*Autor de contato: rafaelcolla@alunos.utfpr.edu.br[1]

[1] Graduandos de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil
[2] Pós-Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil
[3] Mestre em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil
[4] Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil
[5] Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil

RESUMO

O concreto é o segundo material mais consumido no mundo, ficando atrás apenas da água, sendo o cimento Portland seu principal aglomerante. Entretanto, a produção desse cimento está associada a elevadas emissões de CO_2, o que impulsiona a busca por alternativas mais sustentáveis. Nesse contexto, o cimento supersulfatado (CSS) destaca-se por apresentar baixo teor de clínquer, sendo composto predominantemente por escória de alto-forno, gipsita e uma pequena fração de ativador alcalino. Apesar das vantagens ambientais, o CSS apresenta maior suscetibilidade à carbonatação, fenômeno que altera a matriz cimentícia, reduz a alcalinidade do meio e pode comprometer o desempenho mecânico do material. Este estudo teve como objetivo investigar a influência de duas condições de cura no comportamento do CSS frente à carbonatação. Foram moldados corpos de prova em pasta e submetidos às condições de exposição ao ar e cura submersa em solução de água com cal. As amostras foram avaliadas aos 0, 4, 12 e 28 semanas por meio de ensaios de microdureza Vickers.
Palavras-chave: cimento supersulfatado; carbonatação; cura; micro dureza.

ABSTRACT

Concrete is the second most consumed material in the world, surpassed only by water, with Portland cement as its main binder. However, the production of this cement is associated with high CO_2 emissions, which has driven the search for more sustainable alternatives. In this context, supersulfated cement (SSC) stands out due to its low clinker content, being predominantly composed of ground granulated blast furnace slag, gypsum, and a small fraction of alkaline activator. Despite its environmental advantages, SSC presents greater susceptibility to carbonation, a phenomenon that alters the cementitious matrix, reduces the alkalinity of the medium, and may compromise the mechanical performance of the material. This study aimed to investigate the influence of two curing conditions on the carbonation behavior of SSC. Paste specimens were cast and subjected to air exposure and submerged curing in lime-saturated water. The samples were evaluated at 0, 4, 12, and 28 weeks through Vickers microhardness tests.
Keywords: abstract; recommendations; standardization.

1. INTRODUÇÃO

O cimento Portland apresenta elevado impacto ambiental, principalmente em função das significativas emissões de dióxido de carbono (CO_2) associadas ao seu processo produtivo. Estima-se que aproximadamente 7% das emissões globais de CO_2 estejam relacionadas à fabricação do clínquer (Verdani, 2025). Diante desse cenário, tornam-se cada vez mais relevantes as pesquisas voltadas à redução do consumo de clínquer, especialmente aquelas que conciliam menor utilização de matérias-primas naturais e a mitigação da degradação ambiental decorrente da exploração de novas áreas para deposição de resíduos industriais (Trentin, 2020). Nesse contexto, o cimento supersulfatado (CSS) destaca-se como uma alternativa potencialmente mais sustentável, por ser constituído majoritariamente por escória de alto-forno, reduzindo significativamente a demanda por clínquer em sua composição. Entretanto, apesar das vantagens ambientais, o CSS apresenta maior suscetibilidade à carbonatação. Esse fenômeno ocorre quando o CO_2 atmosférico penetra na matriz cimentícia, promovendo a redução do pH e podendo comprometer a durabilidade das estruturas, especialmente no caso do concreto armado, em razão da possível despassivação das armaduras. Assim, o presente artigo tem como objetivo analisar, em diferentes idades, a influência das condições de cura ao ar e submersa em água com cal no processo de carbonatação do cimento supersulfatado (CSS).

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

2.1.1 Escória de alto-forno

A escória granulada de alto-forno utilizada foi a mesma empregada por Kich de Ré (2025). O material foi previamente seco, triturado e peneirado em peneira com abertura de 150 μm. A massa específica foi determinada pelo método do frasco de Le Chatelier, conforme a ABNT NBR 16605, resultando em 2,80 g/cm³. A superfície específica foi obtida pelo método de Blaine, conforme a ABNT NBR 16372, apresentando valor de 3657 cm²/g.

2.1.2 Sulfato de Cálcio

A fonte de sulfato de cálcio utilizada foi gesso calcinado a 650 °C em mufla por 1 hora, com taxa de aquecimento de 30 °C/min, com o objetivo de converter o sulfato de cálcio hemidratado para a forma anidra, usualmente empregada em cimentos supersulfatados devido à sua solubilidade intermediária (Kich de Ré, 2025). A massa específica foi determinada pelo frasco de Le Chatelier (ABNT NBR 16605), obtendo-se 2,66 g/cm³. O material empregado foi o mesmo utilizado por Kich de Ré (2025).

2.1.3 Ativador Alcalino

O ativador alcalino adotado foi o cimento Portland CP V-ARI (alta resistência inicial), selecionado em função de sua elevada alcalinidade. Quando incorporado às pastas de cimento supersulfatado (CSS), promove aumento significativo do pH nas primeiras horas de hidratação, podendo atingir valores próximos a 12,5 e estabilizando-se posteriormente em torno de 12 (Schuster, 2019). Para

esse material, foram considerados os valores informados pelo fabricante: massa específica de 3,12 g/cm³ e superfície específica de 4911 cm²/g.

2.1.4 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado foi composto por areias padrão IPT (nº 16, 30, 50 e 100), conforme a ABNT NBR 7214. A massa específica foi determinada pelo método do picnômetro, de acordo com a ABNT NBR 16916, resultando em 2,62 g/cm³.

Tabela 1 – Composição físico-química dos materiais

Composição química	Teores Escoria (%)	Teores Sulfato de Calcio (%)	Teores Ativador Alcalino (%)
CaO	46,80	38,50	38,50
SiO_2	35,0	0,3	18,3
AL_2O_3	7,60	0,10	4,30
MgO	5,60		5,80
MnO	1,80		
SO_3	1,0	54,1	2,40
TiO_2	0,60		
F_2O_3	0,60		3,00
K_2O	0,50		0,89
SrO	0,20	0,20	
Na_2O	0,10		0,16
CO_2			4,10
BaO	0,10		
ZrO_2	-		
Y_2O_3	<0,1		
P_2O_5	<0,1		
Perda ao fogo	-0,47		
CaO + MgO + SiO_2	87,4		
(CaO + MgO) / SiO_2	1,60		

Fonte: os autores.

2.2 Método

2.2.1 Preparação das Pastas

As pastas foram produzidas com 84% de escória granulada de alto-forno, 15% de gesso calcinado a 650 °C e 1% de ativador alcalino (CP V-ARI), em relação água/aglomerante de 0,50.

O procedimento de mistura consistiu na homogeneização prévia dos materiais secos, seguida da adição da água por 30 s. Posteriormente, realizou-se mistura manual por 30 s com haste de vidro para incorporação inicial. A pasta foi então submetida à mistura mecânica em baixa rotação por 90 s, seguida de 30 s de homogeneização manual para garantir uniformidade e evitar segregação, e finalizada com mais 60 s de mistura mecânica em baixa rotação.

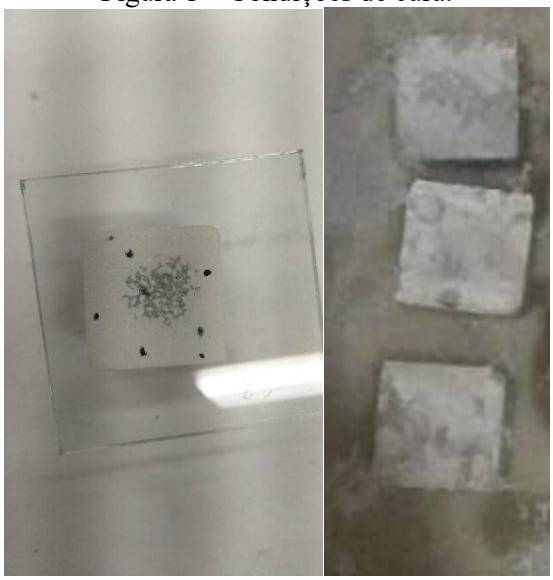
Após o preparo, a pasta foi moldada em corpos de prova cúbicos com dimensões de 3 × 3 × 3 cm, previamente lubrificados com desmoldante. O adensamento foi realizado manualmente com auxílio de colher metálica, buscando minimizar a incorporação de ar.

2.2.3 Cura e exposição a carbonatação

Após a desmoldagem, os corpos de prova de pasta foram submetidos à cura em solução saturada de hidróxido de cálcio, preparada na proporção de 3 g de cal hidratada por litro de água.

Aos 28 dias de idade, os corpos de prova foram divididos em dois grupos experimentais: Expostos ao ar – amostras mantidas em ambiente laboratorial com uma temperatura média de 23°C uma concentração de CO_2 de 0,05% e umidade média de 59%. Submersos em agua com hidróxido de cálcio.

Figura 1 – Condições de cura.



Fonte: os autores.

2.2.5 Ensaio de Dureza

Foram utilizados corpos de prova moldados em pasta, com dimensões de 3 × 3 × 3 cm, submetidos a períodos de 0, 4, 12 e 28 semanas de exposição à carbonatação, nas condições ao ar e submersos. Antes da realização dos ensaios, as superfícies dos corpos de prova foram preparadas por meio de lixamento uniforme com lixa de grão 1200, com o objetivo de remover irregularidades superficiais e garantir melhor acabamento. Posteriormente, realizou-se o polimento da superfície para assegurar maior precisão nas medições de microdureza. A identificação das regiões carbonatadas e não carbonatadas foi realizada mediante aspersão de solução alcoólica de fenolftaleína, que permite a distinção visual das áreas com redução de pH. O ensaio de microdureza foi conduzido em equipamento de microdureza Vickers (Figura 2), com aplicação de carga de 1,98 N durante 30 segundos. As diagonais das impressões foram medidas por meio do microscópio acoplado ao equipamento, possibilitando o cálculo da dureza correspondente. Para cada corpo de prova, foram realizadas cinco medições em regiões internas (não carbonatadas) e cinco em regiões externas (carbonatadas). A partir dos resultados obtidos, foram elaborados gráficos comparativos, permitindo a análise da influência das diferentes condições de cura e dos tempos de exposição no comportamento do material.

Figura 2 – Microdureza Vickers.



Fonte: os autores.

Figura 3 – Corpos de Prova ao ar e imerso com fenolftaleina.

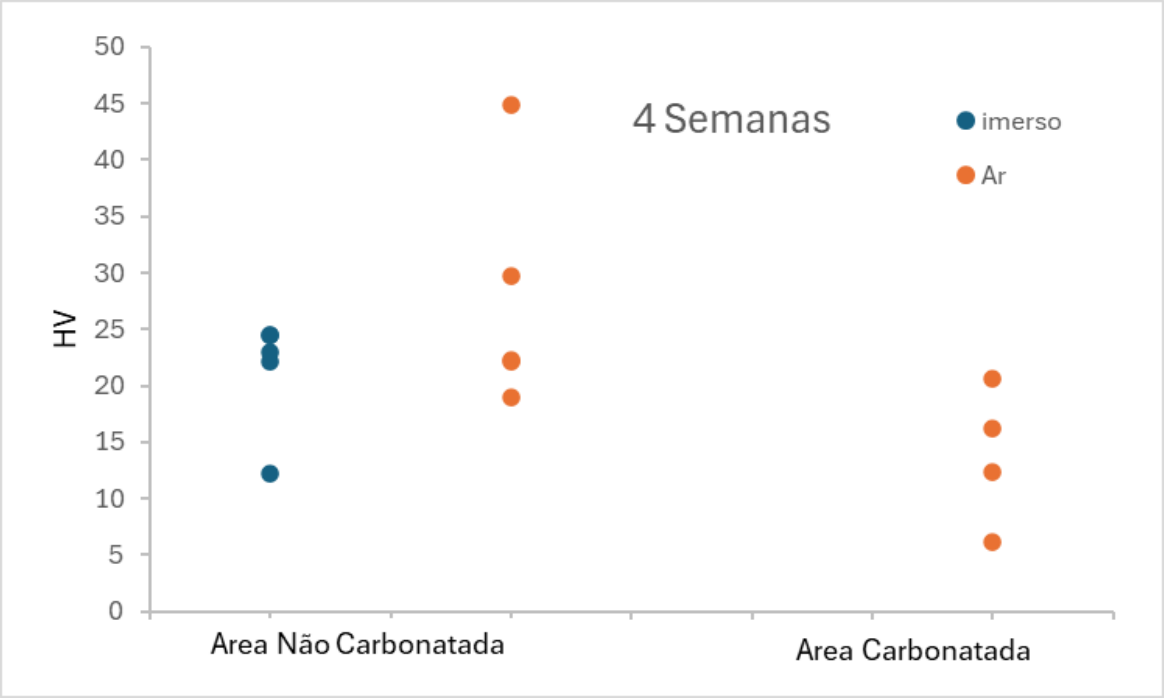


Fonte: os autores.

3. RESULTADOS

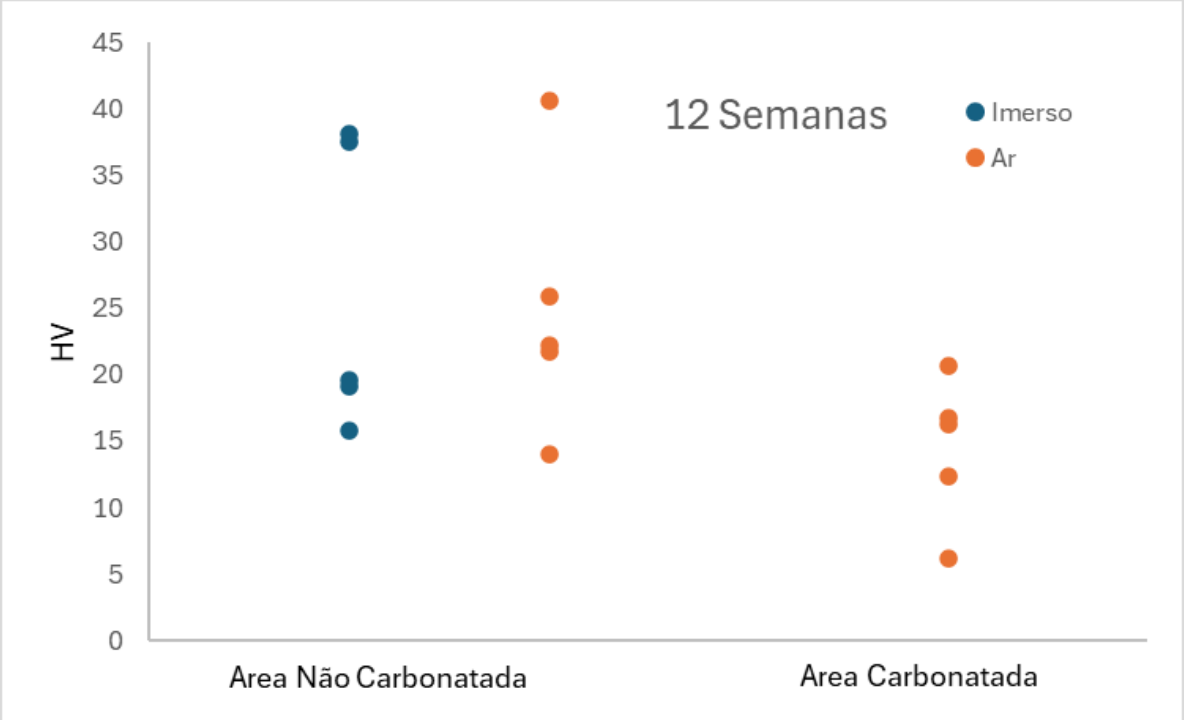
3.2 Ensaio de Dureza em Pasta

Figura 4 – Gráfico de micro dureza Vicker 4 semanas.



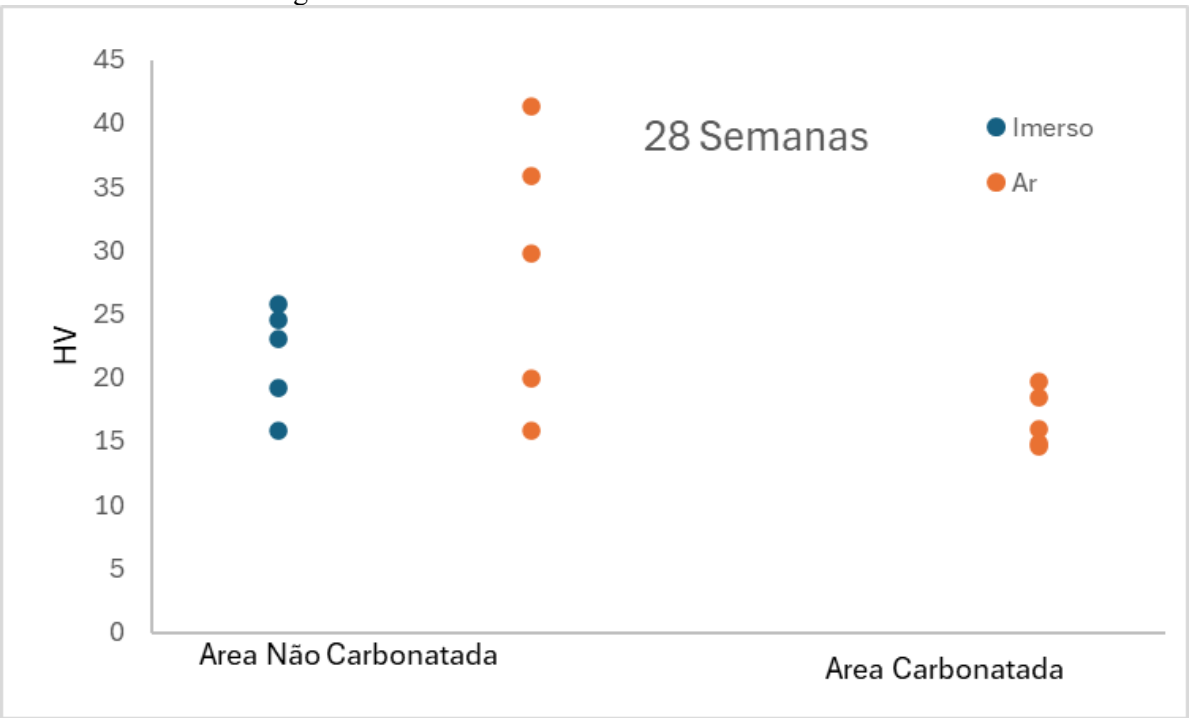
Fonte: os autores.

Figura 5 – Gráfico de micro dureza Vicker 12 semanas.



Fonte: os autores.

Figura 6 – Gráfico de micro dureza Vicker 28 semanas.



Fonte: os autores.

Em todas as idades analisadas, as regiões carbonatadas apresentaram valores de microdureza inferiores quando comparadas às regiões não carbonatadas, evidenciando que o processo de carbonatação promove alterações microestruturais capazes de reduzir a resistência superficial do material.

Com 4 semanas, os corpos de prova expostos ao ar apresentaram, na região interna (não carbonatada), valores de microdureza superiores aos observados nos espécimes mantidos imersos em solução de água com cal. Com 12 semanas, os valores tornaram-se semelhantes entre as duas condições. Já com 28 semanas, observou-se novamente microdureza interna superior nos corpos de prova expostos ao ar em comparação aos imersos.

Destaca-se que os corpos de prova mantidos em solução saturada de hidróxido de cálcio não apresentaram frente de carbonatação ao longo do período analisado, razão pela qual os gráficos referentes a essa condição contemplam exclusivamente medições em regiões não carbonatadas. Esse resultado indica que a cura imersa foi eficaz na prevenção da penetração de CO_2, mantendo a alcalinidade do sistema.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar, aos 0, 4, 12 e 28 semanas, o comportamento da carbonatação em sistemas à base de cimento supersulfatado (CSS), considerando duas condições de cura.

Os resultados de microdureza evidenciaram que, em todas as idades avaliadas, as regiões carbonatadas apresentaram valores inferiores quando comparadas às regiões não carbonatadas, indicando que o avanço da carbonatação promove alterações na matriz cimentícia capazes de reduzir sua resistência superficial. Esse comportamento reforça a elevada sensibilidade do CSS à redução de alcalinidade decorrente da penetração de CO_2.

Observou-se ainda que os corpos de prova mantidos em cura imersa em solução saturada de hidróxido de cálcio não apresentaram frente de carbonatação ao longo do período analisado, demonstrando a eficácia desse regime na preservação do material. Por outro lado, as amostras expostas ao ar desenvolveram regiões carbonatadas progressivamente ao longo do tempo.
Em relação às regiões internas não carbonatadas, verificou-se variação nos valores de microdureza entre as condições de cura ao longo das idades, sugerindo que o ambiente de exposição influencia o desenvolvimento microestrutural do CSS.
Conclui-se, portanto, que o CSS apresenta suscetibilidade significativa à carbonatação quando exposto ao ar, sendo as condições de cura determinantes para seu desempenho ao longo do tempo. Dessa forma, destaca-se a importância da adoção de regimes de cura adequados para garantir maior estabilidade microestrutural e durabilidade do material.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq (046517/2023-1) pelo suporte financeiro, ao programa Pbic/UTFPR, e a Central de Análises da UTFPR.

REFERÊNCIAS

VERDIANI, V. B.; YAMAJI, F. M.; LIMA, L.; BELINI, G. Visão geral sobre o processo de coprocessamento na indústria do cimento no Brasil. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 25, e140295, jan./dez. 2025.

TRENTIN, Priscila Ongaratto. Comportamento do cimento supersulfatado (CSS) exposto ao ataque por sulfatos de origem externa. 2020. Dissertação (Mestrado em Programa de Pos-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.

Ré, Julia Kich de. Influência da composição química do cimento supersulfatado sujeito à carbonatação natural. 2025. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2025.

SCHUSTER, Geciele Caroline. Avaliação de diferentes ativadores alcalinos nas propriedades do cimento supersulfatado (CSS). 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019

CAPÍTULO 34 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/yz9y0q30
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/mzvmxt60

A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL: CONSTRUÇÃO OFFSITE, BIM E SUSTENTABILIDADE NA OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Gabriela Ellen Malerba[1]*
*Autor de contato: malerba.gabriela@aluno.ifsp.edu.br

[1] Arquiteta e Urbanista/ Curso de Geografia, Instituto Federal de São Paulo (IFSP), São Paulo, Brasil

RESUMO

Este artigo analisa a relação entre construção offsite, Building Information Modeling (BIM) e sustentabilidade na reconfiguração dos processos construtivos, por meio de revisão bibliográfica qualitativa. O setor enfrenta baixa produtividade e alta fragmentação devido a modelos sequenciais tradicionais. Os resultados indicam que o método offsite industrializa a construção ao padronizar e transferir etapas para ambientes controlados. O BIM atua como infraestrutura informacional, integrando dados do ciclo de vida da edificação via ISO 19650 e CDE. A integração entre ambos forma um sistema interdependente, cuja eficiência operacional mitiga desperdícios e retrabalhos. Conclui-se que a sustentabilidade emerge como resultado sistêmico dessa integração, evidenciando que industrialização, informação e desempenho ambiental são dimensões indissociáveis na transição para um modelo produtivo digitalizado.
Palavras-chave: construção offsite; BIM; sustentabilidade; industrialização da construção.

ABSTRACT

This article analyzes the relationship between offsite construction, Building Information Modeling (BIM), and sustainability in the reconfiguration of construction processes through a qualitative literature review. The sector faces low productivity and high fragmentation due to traditional sequential models. The results indicate that the offsite method industrializes construction by standardizing and transferring stages to controlled environments. BIM acts as an informational infrastructure, integrating building lifecycle data via ISO 19650 and CDE. The integration between both forms an interdependent system, whose operational efficiency mitigates waste and rework. It is concluded that sustainability emerges as a systemic result of this integration, showing that industrialization, information, and environmental performance are inseparable dimensions in the transition to a digitalized production model.
Keywords: offsite construction; BIM; sustainability; construction industrialization.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil permanece como um dos setores menos produtivos da indústria, caracterizado por fragmentação de processos, baixa previsibilidade e forte dependência de métodos tradicionais de execução (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2017; WINCH, 2010). Essa condição está associada não apenas a limitações tecnológicas, mas a um modelo produtivo historicamente baseado na separação entre projeto, planejamento e execução.

Apesar de avanços pontuais em industrialização e digitalização, o setor ainda opera de forma fragmentada, com baixa integração entre informações e agentes. Essa desconexão limita ganhos de produtividade, reduz a eficiência operacional e compromete a coordenação sistêmica dos processos construtivos, especialmente em empreendimentos de maior complexidade.

Nesse cenário, observa-se uma transição gradual impulsionada por duas frentes principais: a industrialização da produção, representada pela construção offsite, e a digitalização dos processos, estruturada pelo Building Information Modeling (BIM). A convergência entre essas duas abordagens tem sido apontada como um caminho para reorganização dos fluxos produtivos na construção civil.

A literatura indica que a superação das limitações estruturais do setor depende da integração entre métodos construtivos industrializados e sistemas de gestão da informação baseados em modelos digitais (KOSKELA, 2000). Nesse contexto, o BIM assume papel central como infraestrutura de coordenação informacional, enquanto a construção offsite representa a reorganização física do processo produtivo.

Entretanto, essa integração ainda não ocorre de forma homogênea. Diferenças de maturidade digital entre organizações, limitações de interoperabilidade e fragmentação da cadeia produtiva dificultam a consolidação de um sistema plenamente integrado. Além disso, os impactos dessa transformação sobre o desempenho sustentável do setor ainda são tratados de forma dispersa na literatura.

Dessa forma, torna-se relevante analisar de forma integrada a relação entre construção offsite, BIM e sustentabilidade, considerando esses elementos como partes interdependentes de um mesmo sistema produtivo em transformação. Diante disso, este artigo tem como objetivo geral analisar essa tríade como elementos integrados na otimização dos processos construtivos. Para o alcance desse propósito, busca-se, especificamente, analisar a construção offsite como sistema industrializado de produção (SMITH; QUALE, 2017) e compreender o BIM como infraestrutura de gestão da informação, relacionando-o às diretrizes da ISO 19650 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018 - 2020) e ao uso de Common Data Environment (CDE). Por fim, o estudo propõe-se a avaliar a sustentabilidade como consequência direta da eficiência sistêmica na redução de desperdícios (BRUNDTLAND, 1987; EASTMAN et al., 2011) e discutir de que maneira a integração entre o offsite e o BIM se articula com os níveis de maturidade digital das organizações (SUCCAR, 2009).

2. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa de natureza exploratória, desenvolvida por meio de um delineamento de revisão integrativa da literatura. Esse método foi selecionado por permitir a busca, a avaliação crítica e a síntese das evidências disponíveis sobre o

tema, sendo ideal para construir uma leitura sinérgica entre os eixos conceituais propostos: a industrialização (construção offsite), a digitalização (Building Information Modeling) e o desempenho sustentável.

O procedimento metodológico foi estruturado em três fases sistemáticas: (i) amostragem e busca de dados; (ii) triagem e seleção de documentos com aplicação de critérios de elegibilidade; e (iii) categorização, análise e síntese teórica.

A primeira fase consistiu no levantamento bibliográfico nas bases de dados indexadas *Scopus* e *ScienceDirect*, reconhecidas pelo rigor de seus periódicos peer-reviewed, complementadas pelo *Google Scholar* para a identificação de normas técnicas e relatórios institucionais de relevância global na área da construção civil. O recorte temporal estabelecido compreendeu o período de 2000 a 2026, justificando-se pela necessidade de capturar a evolução histórica das discussões desde a consolidação dos conceitos de construção enxuta (*lean construction*) e os primeiros estágios de adoção do BIM, até as discussões contemporâneas sobre sustentabilidade sistêmica. As strings de busca foram estruturadas utilizando operadores booleanos (*AND* e *OR*) associando os termos centrais em português e inglês: "construção offsite" (*"offsite construction"*), "BIM" (*"Building Information Modeling"*) e "sustentabilidade" (*"sustainability"*).

Na segunda fase, os documentos pré-selecionados foram submetidos a critérios rigorosos de elegibilidade. Os **critérios de inclusão** exigiram: (a) aderência direta aos três eixos temáticos propostos (industrialização, digitalização e sustentabilidade); (b) publicações revisadas por pares ou emitidas por instituições setoriais com reconhecida autoridade técnica; e (c) relevância conceitual ou empírica demonstrada por meio de metodologias claras. Inversamente, os **critérios de exclusão** eliminaram: (a) estudos sem relação direta com os eixos analíticos delimitados; (b) produções que abordassem tais conceitos de forma estritamente isolada, sem estabelecer pontes de integração; e (c) capítulos de livros ou anais de eventos sem revisão por pares clara.

A terceira e última fase correspondeu ao tratamento e análise dos dados coletados. O corpus textual final foi submetido a uma categorização temática estruturada em três dimensões analíticas: o papel da construção offsite como sistema industrializado de produção; o BIM como infraestrutura de gestão da informação; e o desempenho sustentável como consequência da eficiência desse arranjo. A interpretação dos dados foi realizada por meio de análise comparativa qualitativa e síntese conceitual dos achados teóricos e empíricos. Esse processo permitiu confrontar as diferentes visões da literatura, identificar convergências e lacunas, e estruturar um modelo conceitual integrado para explicar a dinâmica entre industrialização, digitalização e sustentabilidade no setor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CONSTRUÇÃO OFFSITE

A análise dos dados evidencia que a construção offsite consolida-se como o vetor de industrialização do processo construtivo. O principal resultado observado é a profunda reconfiguração da lógica de produção a partir do momento em que as atividades críticas são transferidas do canteiro de obras tradicional para ambientes fabris controlados. Essa mudança estrutural mitiga de forma expressiva a variabilidade operacional, ampliando o controle de qualidade e a previsibilidade das entregas.

Dentre as soluções industriais mapeadas neste estudo, destacam-se os sistemas baseados em painéis e paredes de concreto leve pré-fabricado, cuja aplicação demonstra alta aderência a

empreendimentos modulares e habitacionais de escala. Constatou-se que a fabricação desses componentes em matrizes fabris fixas assegura uma rigidez dimensional superior à dos métodos moldados *in loco*. Como consequência direta, há um ganho expressivo em repetibilidade de processos e uma redução imediata no desperdício de insumos brutos. O estudo aponta que a eficiência real desses sistemas físicos, contudo, não ocorre de forma isolada; ela é maximizada quando os componentes são concebidos de forma coordenada com modelos tridimensionais integrados, permitindo uma compatibilização sem ruídos entre as fases de projeto, manufatura e montagem final em campo.

3.2 BIM, ISO 19650 E CDE

Os resultados demonstram que o Building Information Modeling (BIM) opera como a infraestrutura de coordenação informacional indispensável para viabilizar a industrialização da construção. Longe de ser apenas uma ferramenta de modelagem, o BIM se consolidou nas análises como uma metodologia centralizadora de dados capazes de acompanhar todo o ciclo de vida da edificação. A adoção de diretrizes internacionais e padronizadas de gerenciamento da informação mostra-se crucial para mitigar a assimetria de dados entre os diversos agentes e assegurar a rastreabilidade das decisões técnicas.

Nesse arranjo digital, identificou-se que o Ambiente Comum de Dados (CDE) assume o papel de núcleo operacional do ecossistema de projeto. A estruturação do CDE permite segmentar e controlar com rigor os estados da informação — discriminando com precisão o que é trabalho em andamento, o que está compartilhado e o que foi homologado para publicação. Do ponto de vista prático, essa governança de dados elimina conflitos de versões e aumenta substancialmente a confiabilidade do modelo que será enviado para a fábrica. Notou-se que essa rastreabilidade faz com que alterações feitas nas etapas iniciais de concepção se propaguem de maneira controlada, mitigando os tradicionais retrabalhos decorrentes de interferências físicas não detectadas entre disciplinas. Na interface com a construção offsite, essa precisão da informação digital é o que dita a exatidão da produção física das peças, chegando a registrar reduções expressivas de até 30% no desperdício de materiais na montagem final devido ao alto alinhamento dimensional.

3.3 SUSTENTABILIDADE

A partir dos cruzamentos analíticos realizados, constatou-se que a sustentabilidade no setor não pode ser tratada como um apêndice ou uma métrica isolada de mitigação, mas sim como um resultado sistêmico e intrínseco à nova organização do fluxo produtivo. A eficiência ecológica observada decorre diretamente da eliminação de redundâncias operacionais propiciada pelo arranjo entre industrialização e digitalização.

Os achados indicam que o controle rígido de resíduos observado nos sistemas estudados atende de forma nativa às demandas de gestão ambiental mais exigentes do setor, reduzindo drasticamente a geração de entulho e otimizando a destinação de sobras na própria fábrica. A mitigação de impactos ambientais deixa de ser uma resposta reativa a erros de canteiro e passa a ser desenhada na fase de projeto digital. Conclui-se, portanto, que os ganhos ecológicos — como a otimização de recursos naturais e a redução da pegada de carbono no ciclo de vida — estão em nível de equivalência direta com a maturidade da gestão da informação. A sustentabilidade emerge, assim, como uma consequência imediata da estabilização dos fluxos de valor provocada pelo controle rigoroso de dados.

3.4 ECOSSISTEMAS DIGITAIS

Por fim, a convergência entre a construção offsite e o BIM aponta para a emergência de ecossistemas digitais de produção, nos quais o setor da construção deixa de operar de forma linear e fragmentada para atuar como uma rede informacional interconectada. Os dados deixam de ser meros registros de desenho e passam a ser os elementos centrais de tração de toda a cadeia produtiva, do fornecedor de insumos à montagem em campo.

Contudo, as análises revelam que a consolidação plena desses ecossistemas ainda é obstaculizada pela heterogeneidade na maturidade digital das organizações. Observa-se um cenário de transição marcado pela coexistência de fluxos altamente tecnológicos em indústrias de ponta e gargalos severos de interoperabilidade em fornecedores e projetistas periféricos. Esse diagnóstico evidencia que a verdadeira transformação do setor não se restringe à mera aquisição de softwares ou automações pontuais, mas sim à revisão estrutural e profunda da cultura organizacional, promovendo a integração sistêmica entre processos, tecnologias e agentes da cadeia de suprimentos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste estudo foi analisar a relação entre construção offsite, BIM e sustentabilidade como elementos integrados na otimização dos processos construtivos. Os resultados obtidos permitem afirmar que esse objetivo foi atendido ao evidenciar que o offsite atua como mecanismo de industrialização, o BIM como infraestrutura de coordenação informacional e a sustentabilidade como resultado sistêmico dessa integração.

A construção offsite, quando integrada ao BIM, configura um sistema produtivo industrializado dependente de informação digital estruturada. O BIM, apoiado pela ISO 19650 e operacionalizado pelo CDE, atua como infraestrutura de coordenação informacional.

O desempenho sustentável emerge como resultado sistêmico dessa integração, associado à eficiência produtiva e redução de desperdícios. Em nível avançado, observa se a consolidação de ecossistemas digitais de produção, nos quais a construção civil evolui para um modelo baseado em dados e interoperabilidade.

Conclui-se que a transformação do setor decorre da integração entre industrialização, digitalização e sustentabilidade como dimensões interdependentes.

REFERÊNCIAS

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1987.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF: CONAMA, 2002.

EASTMAN, Chuck et al. **BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19650**: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling. Geneva: ISO, 2018–2020.

KOSKELA, Lauri. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, 2000.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Reinventing construction: a route to higher productivity**. [S. l.], 2017. Disponível em: https://www.mckinsey.com. Acesso em: 26 abr. 2026.

SMITH, Ryan E.; QUALE, John D. **Offsite architecture: constructing the future**. New York: Routledge, 2017.

SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.

WINCH, Graham M. **Managing construction projects**. 2. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010.

CAPÍTULO 35 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/xbvw7m47
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/3ytk7r68

MEMBRANAS DE POLIURETANO COM DERIVADOS DE GRAFENO PARA IMPERMEABILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Julie Anne Braun [1,2]*, Gerson Parreira[3], Camila Maroneze[1,2], Ricardo J.E. Andrade [1,2]
*Autor de contato: julie.braun@protonmail.com

[1] Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil
[2]Instituto Mackenzie de Pesquisa em Grafeno e Nanotecnologias, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil
[3]Purcom Química, Barueri, São Paulo, Brasil

RESUMO
Este trabalho avalia membranas de poliuretano (PU) vegetal e sintético, com e sem nanoestruturas derivadas de grafeno (NPGs), para impermeabilização de estruturas de concreto. Foram analisadas alterações químicas por FTIR-ATR, morfologia por microscopia óptica, comportamento mecânico por tração e dureza Shore, molhabilidade por ângulo de contato e absorção de água. Experimentalmente, as NPGs aumentaram a resistência à tração e o ângulo de contato nas duas matrizes. A absorção de água diminuiu no PU vegetal (0,56% para 0,32%) e aumentou no PU sintético (1,53% para 2,14%), apesar do aumento da hidrofobicidade superficial. Essa divergência é interpretada como consequência da distinção entre resposta superficial (molhabilidade) e transporte volumétrico de água, possivelmente influenciada pela química da matriz e pela interface carga/polímero. Os resultados indicam que a matriz vegetal modificada apresenta o conjunto mais favorável de resistência, deformabilidade e baixa absorção para aplicações impermeabilizantes.

Palavras-chave: nanotecnologia; impermeabilização; grafeno; sustentabilidade.

ABSTRACT
This study evaluates bio-based and synthetic polyurethane (PU) membranes, with and without 0.05 wt.% graphene-derived nanostructures (NPGs), for waterproofing concrete structures. Chemical features (FTIR-ATR), morphology (optical microscopy), mechanical performance (tensile test and Shore hardness), wettability (water contact angle), and water absorption were assessed. Experimentally, NPGs increased tensile strength and water contact angle in both matrices. Water absorption decreased in the bio-based PU (0.56% to 0.32%) and increased in the synthetic PU (1.53% to 2.14%), despite the higher surface hydrophobicity. This divergence is interpreted as evidence that surface wettability and bulk water uptake are distinct phenomena, likely governed by matrix chemistry and filler/polymer interfacial effects. Overall, the graphene-modified bio-based PU showed the most favorable balance between strength, deformability, and low water absorption for waterproofing applications.

Keywords: nanotechnology; waterproofing; graphene; sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de impermeabilização são componentes de durabilidade, pois reduzem a entrada de água, CO_2, O_2 e íons agressivos no concreto, limitando carbonatação, corrosão de armaduras e perda de estanqueidade. Membranas poliméricas aderidas ao substrato são relevantes nesse contexto por combinar barreira física e capacidade de acomodar deformações do suporte. Entre esses materiais, os poliuretanos (PUs) destacam-se pela versatilidade química resultante da combinação entre isocianatos e polióis, permitindo ajustar rigidez, alongamento, adesão, resistência à abrasão e comportamento frente à água (AKINDOYO et al., 2016; DAS; MAHANWAR, 2020). No Brasil, membranas de PU são empregadas em lajes e coberturas, com requisitos de desempenho estabelecidos pela ABNT NBR 15487-1:2023. Entretanto, a durabilidade de membranas expostas permanece condicionada à degradação por radiação UV, ciclos térmicos, molhagem/secagem, fissuração do substrato e alterações na rede polimérica (YANG et al., 2001; PELZ; KARLOVŠEK, 2022). O desafio não é apenas elevar uma propriedade isolada, mas obter simultaneamente resistência mecânica, deformabilidade e baixa absorção de água.

Nanocargas carbonáceas, como o grafeno e derivados, têm sido usadas para modificar PUs por mecanismos de transferência de carga, aumento de tortuosidade e alteração de energia superficial (ZHU et al., 2021; TAYOURI et al., 2022; CHEN et al., 2023, 2024). Ainda assim, a literatura permanece concentrada em matrizes específicas e nem sempre distingue propriedades superficiais, como ângulo de contato, de propriedades volumétricas, como absorção de água. Essa distinção é crítica para impermeabilização: uma superfície mais hidrofóbica não implica, necessariamente, menor absorção volumétrica se houver microvazios, baixa compatibilidade interfacial ou grupos polares acessíveis à água. Além disso, ainda são escassas comparações diretas entre matrizes bio-baseadas e fósseis, preparadas sob uma mesma lógica estequiométrica, com baixo teor de derivados de grafeno e foco em estruturas de concreto.

Assim, este trabalho avalia, comparativamente, membranas de PU vegetal e PU sintético com e sem NPGs, correlacionando química, morfologia observável, comportamento mecânico, molhabilidade e absorção de água, com foco em aplicações de impermeabilização de estruturas de concreto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Grafeno e derivados como carga funcional em poliuretanos

O grafeno é uma folha bidimensional de carbono sp^2 com elevada área superficial e razão de aspecto. Em PUs, derivados de grafeno podem atuar como reforço quando há boa dispersão e interação interfacial, favorecendo transferência de tensão e possível aumento do caminho difusivo para água e gases (CHEN et al., 2023; SINH; LUONG; SEPPÄLÄ, 2019). Contudo, esse efeito é dependente da matriz, do teor de carga e do estado de aglomeração; portanto, ganhos mecânicos ou de barreira não devem ser tratados como consequência automática da adição da nanocarga.

A química superficial também é decisiva. O óxido de grafeno contém grupos oxigenados capazes de interagir por ligações de hidrogênio com segmentos polares do PU, mas esses mesmos grupos podem aumentar afinidade por água quando permanecem acessíveis no volume do compósito (BASKAKOV et al., 2023). Redução, funcionalização ou alteração topográfica podem elevar o ângulo de contato, mas tal resposta descreve a superfície e não substitui ensaios de absorção ou transporte de água (ZHAO et al., 2022; YARI et al., 2021).

2.2 Membranas de PU para impermeabilização e durabilidade

Revestimentos poliméricos reduzem o transporte de água, gases e íons no concreto, retardando carbonatação e ingresso de cloretos (ALMUSALLAM et al., 2003; PAN et al., 2017b). Em membranas de PU, o desempenho depende do equilíbrio entre continuidade da camada, aderência, deformabilidade, resistência mecânica e estabilidade ambiental. Ensaios de tração, dureza, molhabilidade e absorção de água, embora não substituam avaliações de campo, permitem identificar tendências relevantes para seleção de sistemas impermeabilizantes.

2.3 Sustentabilidade: PUs bio-baseados e extensão de vida útil

A sustentabilidade em impermeabilização deve ser tratada por dois eixos complementares: conteúdo renovável da formulação e potencial de extensão de vida útil. PUs derivados de óleos vegetais reduzem parcialmente a dependência de matéria-prima fóssil e podem apresentar bom desempenho mecânico quando formulados adequadamente (DIMIAN et al., 2017; SU et al., 2023). Contudo, sem indicadores completos de ciclo de vida, a contribuição ambiental deve ser apresentada como potencial, não como comprovação absoluta.

2.4 Síntese crítica da literatura

Em síntese, os estudos disponíveis indicam que PUs, polióis renováveis e derivados de grafeno são rotas tecnicamente promissoras, mas ainda há lacunas quanto à comparação direta entre matrizes vegetal e sintética em membranas de impermeabilização, especialmente na relação entre dispersão, propriedades mecânicas, molhabilidade superficial e absorção volumétrica. Esta pesquisa se posiciona nessa lacuna ao avaliar, sob baixo teor de NPGs, como a mesma estratégia de nanomodificação produz respostas distintas em duas matrizes de PU voltadas à proteção e impermeabilização de estruturas de concreto.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Materiais

Foram avaliadas membranas de poliuretano (PU) de duas matrizes: (i) PU vegetal, formulado com óleo de mamona in natura como poliol natural, sem modificação química (funcionalidade nominal = 2,70; índice de hidroxila = 167,39 mg KOH g^{-1}; viscosidade = 710 mPa.s; massa molar nominal ≈ 928 g mol^{-1}); e (ii) PU sintético, formulado com poliol poliéter iniciado por glicerina (funcionalidade nominal = 3,00; índice de hidroxila = 176,07 mg KOH g^{-1}; viscosidade = 271,90 mPa.s; massa molar nominal ≈ 1000 g mol^{-1}). O componente isocianato foi um MDI pré-polimérico (ISOPUR R9650®), com teor de NCO de 22,66% e viscosidade de 853,30 mPa.s. Também foram empregados catalisador amínico terciário (ADIPUR AMN 20052) e dessecante de peneira molecular (Baylith SG 232), todos fornecidos pela Purcom Química (Brasil).

As NPGs consistiram em óxido de grafeno liofilizado, obtido pelo método de Hummers modificado e produzido pelo Instituto MackGraphe (patente BR 10 2023 0104886). O material apresenta razão ID/IG ≈ 1,0, espaçamento interlamelar de 0,88 nm e comprimentos laterais entre 0,965 e 28,09 μm. Não foi aplicada funcionalização química adicional. O número médio de camadas não foi determinado neste estudo; por isso, a discussão morfológica restringe-se à dispersão observável e à presença de aglomerados.

3.2 Métodos de preparo das membranas e caracterização

3.2.1 Preparo das membranas

Em cada matriz, foram preparadas duas formulações: PU puro e PU com nanostruturas derivadas do grafeno. A formulação modificada foi obtida pela adição de um teor otimizado de derivado grafênico, mantido constante ao longo do estudo. O teor exato não é apresentado por se tratar de composição em avaliação para proteção intelectual, sem prejuízo da análise comparativa entre as matrizes avaliadas. O cálculo estequiométrico adotou índice NCO/OH = 1,10. Para a formulação vegetal de referência, os percentuais em massa foram 61,97% de óleo de mamona, 35,61% de isocianato, 0,19% de catalisador e 1,24% de absorvedor de umidade; para a matriz sintética, a massa de isocianato foi ajustada a partir do índice de hidroxila do poliol poliéter, mantendo-se o índice NCO/OH. As NPGs foram previamente dispersas no poliol por agitação mecânica, seguida de tratamento em banho ultrassônico por 3 minutos. Em seguida, foram adicionados o catalisador e o dessecante, mantendo-se a homogeneização da mistura. Por último, incorporou-se o isocianato, com mistura manual por 3 minutos. A mistura foi vertida em moldes planos para cura ao ar por 7 dias à temperatura de 23 ± 2 °C. Após o período de cura, os corpos de prova foram recortados conforme a geometria de cada ensaio. A espessura média das membranas foi de 1,00 ± 0,15 mm.

3.2.2 Métodos de ensaio

A caracterização química foi conduzida por FTIR-ATR (Shimadzu IRAffinity-1S), na faixa de 4000 a 600 cm^{-1}, resolução de 4 cm^{-1} e 16 varreduras por amostra. A morfologia foi avaliada por microscopia óptica (Nikon Eclipse LV100ND), em magnificações de 5 e 20 vezes, limitada à identificação de heterogeneidades e aglomerados visíveis. O comportamento mecânico foi avaliado conforme ASTM D638, com corpos de prova tipo IV (espessura 1,00 ± 0,15 mm), máquina universal Shimadzu, célula de carga de 10 kgf, distância entre garras de 30 mm, velocidade de 50 mm min^{-1} e no mínimo cinco corpos de prova por formulação. A dureza Shore A e D foi determinada conforme ASTM D2240-15. O ângulo de contato foi medido em equipamento Krüss DSA 100, com água deionizada, gota de 2 µL, a 21 ± 2 °C e 50 ± 5% de umidade relativa, totalizando 60 medições por formulação. A absorção de água foi determinada conforme ABNT NBR 15487-1:2023, por imersão em água deionizada a 23 °C por 7 dias, em corpos de prova de 10 × 30 × 2 mm, sendo calculada por $A(\%) = [(m_f - m_i)/m_i] \times 100$, em que m_ié a massa inicial seca e m_fa massa após imersão e secagem superficial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

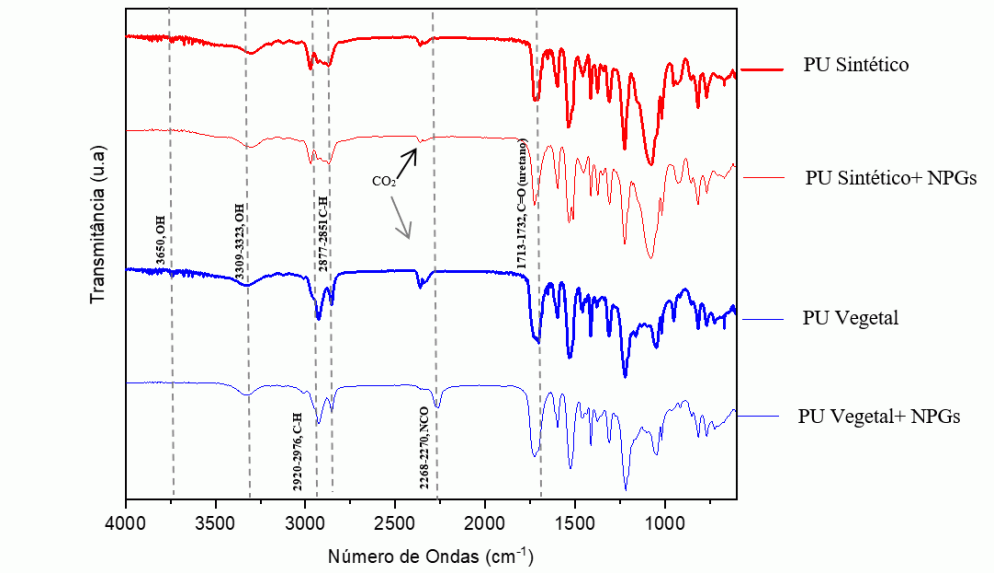
4.1 Análise química por FTIR-ATR

Os espectros FTIR-ATR (Figura 1) apresentaram bandas características de PUs, incluindo O–H/N–H (≈3300 cm^{-1}), C–H alifático (≈2970 e 2870 cm^{-1}), carbonila de uretano (≈1713 cm^{-1}) e bandas associadas a C–N/N–H. Essas assinaturas indicam formação de ligações uretano nas matrizes vegetal e sintética (COUTINHO; DELPECH, 1999).

Na formulação vegetal com NPGs, a banda em ≈2268 cm^{-1}, atribuída ao grupo NCO, foi observada na primeira leitura e deixou de ser detectada após 24 h. Esse comportamento é interpretado como efeito cinético de cura, e não como evidência de NCO residual permanente. A literatura reporta

que a banda de NCO em torno de 2270 cm^{-1} é sensível ao consumo de isocianato durante a formação de uretano e pode variar conforme umidade, mobilidade dos reagentes e interfaces do filme (LUDWIG; URBAN, 1996; WONG; BADRI, 2012). Assim, a repetição do FTIR após 24 h reforça que a reação avançou até consumo do NCO detectável por ATR nas condições analisadas.

Figura 1 - Espectros FTIR-ATR das membranas de PU vegetal e PU sintético, com e sem NPGs.

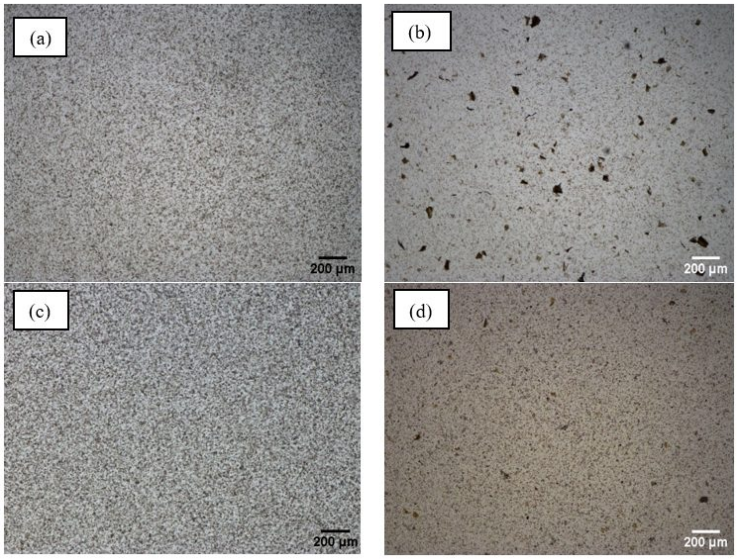


Fonte: os autores.

4.2 Morfologia e dispersão das NPGs

A microscopia óptica a 5× (Figura 2) evidencia diferenças de dispersão em escala micrométrica. No PU vegetal com NPGs, observam-se regiões mais heterogêneas e aglomerados visíveis; no PU sintético com NPGs, a distribuição aparenta maior homogeneidade.

Figura 2 - Micrografias ópticas (5×): (a) PU vegetal; (b) PU vegetal + NPGs; (c) PU sintético; (d) PU sintético + NPGs.

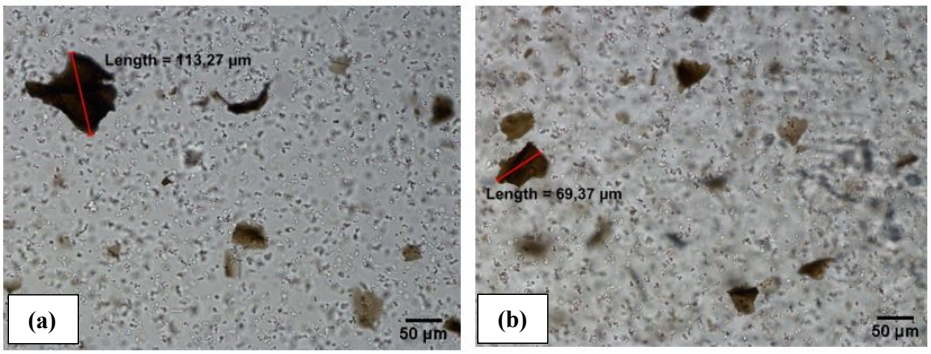


Fonte: os autores.

A heterogeneidade observada no PU vegetal não implica, necessariamente, menor afinidade química entre a matriz de mamona e as NPGs. O óleo de mamona contém grupos hidroxila e carbonila capazes de interagir com os grupos oxigenados das NPGs por ligações de hidrogênio e interações dipolares. Assim, a menor uniformidade de dispersão pode estar associada, ao menos em parte, à maior viscosidade inicial do óleo de mamona (710 mPa·s) em relação ao poliol poliéter (271,90 mPa·s). Portanto, a matriz vegetal apresenta viscosidade aproximadamente 2,6 vezes maior, o que tende a reduzir a eficiência do cisalhamento durante a mistura e dificultar a desaglomeração das nanoestruturas.

Em 20 vezes de magnificação (Figura 3), as dimensões laterais aparentes dos aglomerados foram estimadas em 113,27 µm para o PU vegetal e 69,37 µm para o PU sintético. Esses valores descrevem aglomerados micrométricos observáveis, não o tamanho primário das NPGs. Portanto, sua interpretação deve ser restrita ao estado de dispersão aparente da nanocarga nas membranas.

Figura 3 - Micrografias ópticas (20×) com dimensão lateral aparente das NPGs/agregados no PU vegetal (a) e no PU sintético (b).



Fonte: os autores.

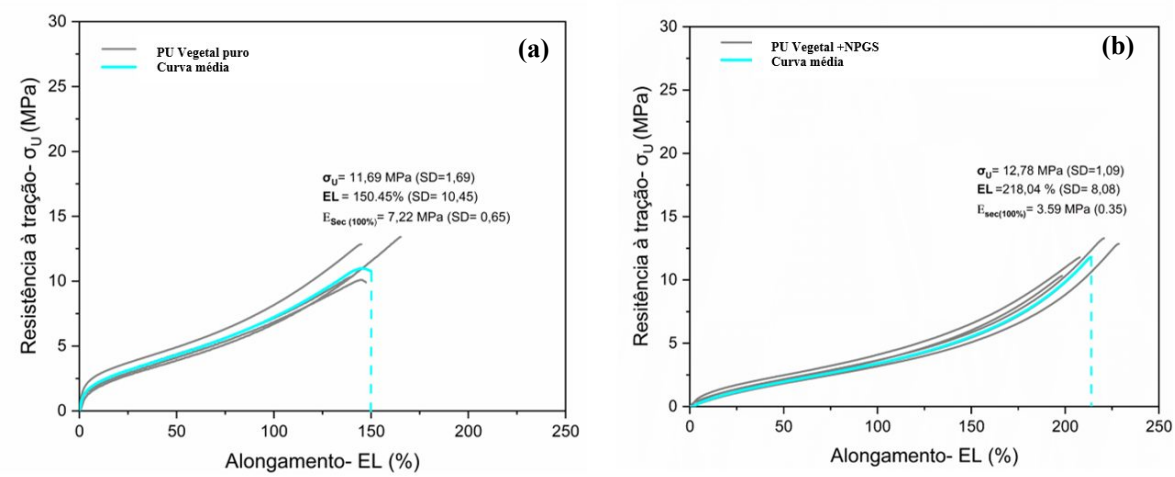
4.3 Propriedades mecânicas

4.3.1 Resistência à tração e alongamento

As curvas de tensão-deformação (Figuras 4a e 4b) indicam comportamento dúctil. No PU vegetal, a adição de NPGs elevou a resistência à tração de 11,69 ± 1,69 MPa para 12,78 ± 1,09 MPa (+9%) e o alongamento na ruptura de 150,45 ± 10,45% para 218,04 ± 8,80% (+45%), enquanto o módulo secante a 100% diminuiu de 7,22 ± 0,65 MPa para 3,59 ± 0,35 MPa. O resultado indica ganho simultâneo de resistência e deformabilidade, sem aumento de rigidez, o que pode estar associado à modulação da rede segmentada do PU e à dissipação de energia durante a deformação. Como a microscopia indica aglomerados, não se atribui esse comportamento exclusivamente à dispersão da nanocarga.No PU sintético (Figuras 5a e 5b), as NPGs aumentaram a resistência à tração de 11,17 ± 1,29 MPa para 13,54 ± 2,83 MPa (+21%) e o alongamento de 134,53 ± 9,63% para 169,15 ± 6,60% (+26%), com variação limitada do módulo secante a 100% (7,84 ± 0,87 MPa para 7,53 ± 1,55 MPa). A combinação entre maior resistência e manutenção da rigidez é compatível com reforço em baixo teor de carga.

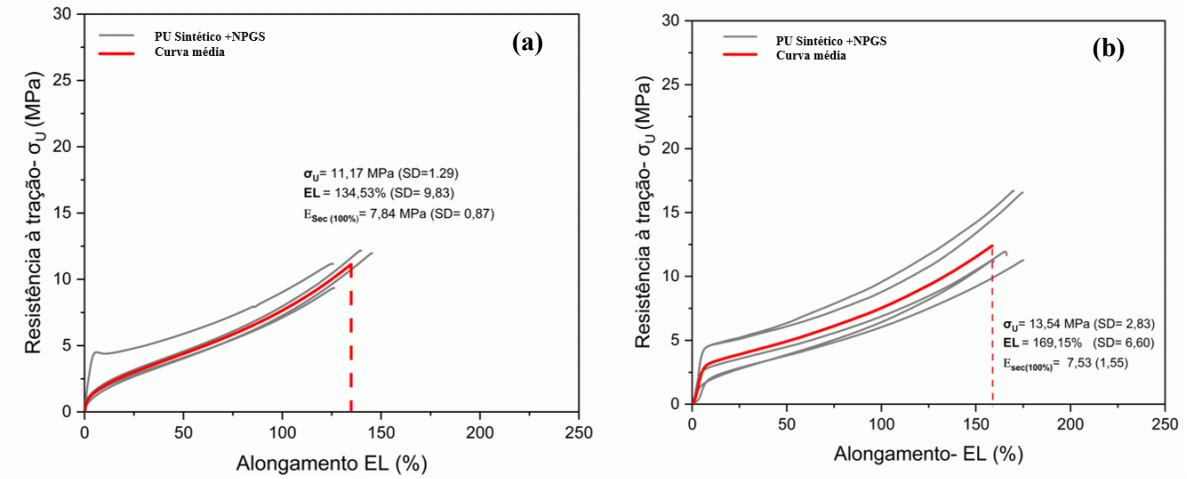
A comparação das curvas médias (Figura 6), à luz da classificação de Callister (2018), sugere que o PU vegetal com NPGs se desloca para resposta mais elastomérica, enquanto as demais formulações mantêm perfil mais próximo de polímeros plásticos dúcteis. Para impermeabilização, esse ganho de deformabilidade é relevante porque pode favorecer a acomodação de movimentações do substrato, embora a capacidade de ponteamento de fissuras (*crack bridging ability-CBA*) deva ser confirmada por ensaios específicos.

Figura 4 - Curvas tensão-deformação do PU vegetal (a) e do PU vegetal + NPGs (b).



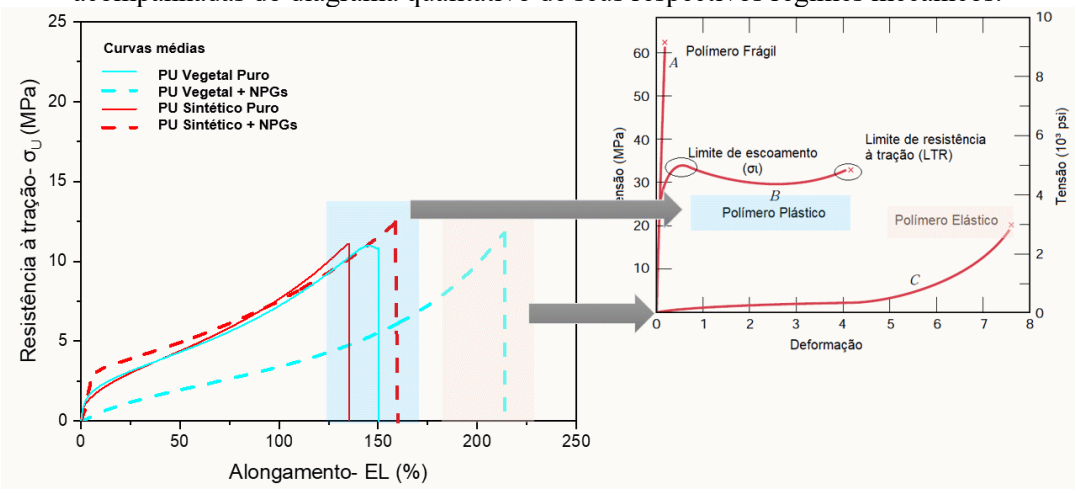
Fonte: os autores.

Figura 5 - Curvas tensão-deformação do PU sintético (a) e do PU sintético + NPGs (b).



Fonte: os autores.

Figura 6 - Curvas representativas de tensão versus deformação para as matrizes poliméricas, acompanhadas do diagrama qualitativo de seus respectivos regimes mecânicos.



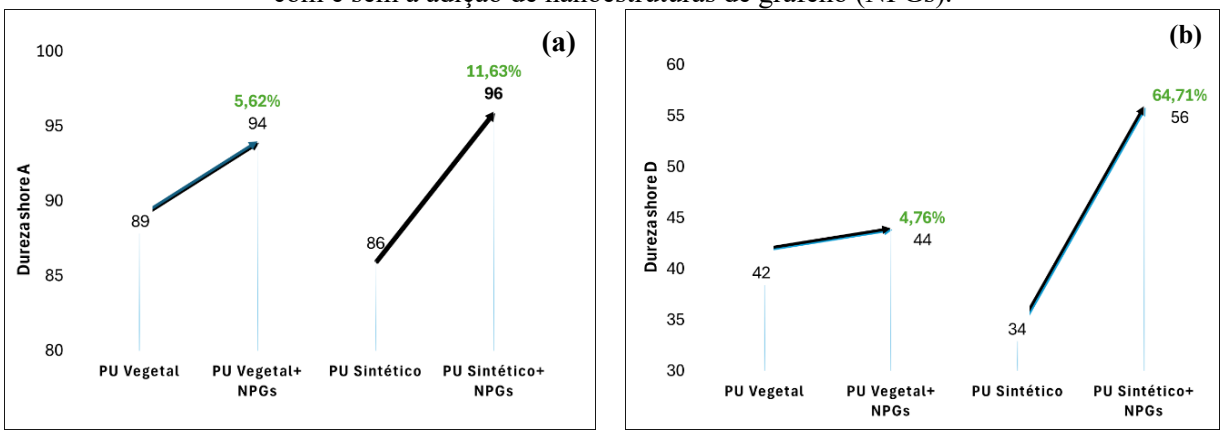
Fonte: os autores (curvas) e adaptado de CALLISTER (2018).

4.3.2 Dureza Shore A e Shore D

A Figura 7 apresenta a dureza Shore A e Shore D. Na escala Shore A, o PU vegetal variou de 89 ± 1 para 94 ± 1 com NPGs (+5,62%) e o PU sintético de 86 ± 1,73 para 96 ± 1 (+11,63%). Na escala Shore D, o PU vegetal variou de 42 ± 1 para 44 ± 1 (+4,76%) e o PU sintético de 34 ± 1 para 56 ± 1 (+64,71%).

O aumento de dureza é coerente com a presença de fase rígida dispersa e maior restrição local à deformação. O ganho em Shore D no PU sintético pode indicar transferência de tensão mais eficiente ou maior contribuição de regiões rígidas, em consonância com a literatura sobre reforço de poliuretanos por cargas grafênicas em baixo teor (CHEN et al., 2023).

Figura 7 - Valores médios de dureza Shore A (a) e Shore D (b) dos compósitos de PU (vegetal e sintético) com e sem a adição de nanoestruturas de grafeno (NPGs).



Fonte: os autores.

4.4 Molhabilidade: ângulo de contato

A Tabela 1 e a Figura 8 apresentam os ângulos de contato com água. O PU vegetal puro apresentou 81,05 ± 3,02°, valor superior ao do PU sintético puro (58,73 ± 2,04°). Com NPGs, o PU vegetal atingiu 90,06 ± 3,23° e o PU sintético 79,74 ± 5,77°. Assim, a adição de NPGs aumentou experimentalmente a hidrofobicidade superficial nas duas matrizes, com o PU vegetal modificado atingindo o limiar usual de superfície hidrofóbica ($\theta \geq 90°$). A diferença entre as matrizes pode ser relacionada à composição química. O PU vegetal contém longos segmentos alifáticos derivados do óleo de mamona, que tendem a reduzir a energia superficial, embora a rede também contenha grupos polares. O PU sintético, por sua vez, apresentou maior molhabilidade inicial, indicando superfície mais favorável à interação com água.

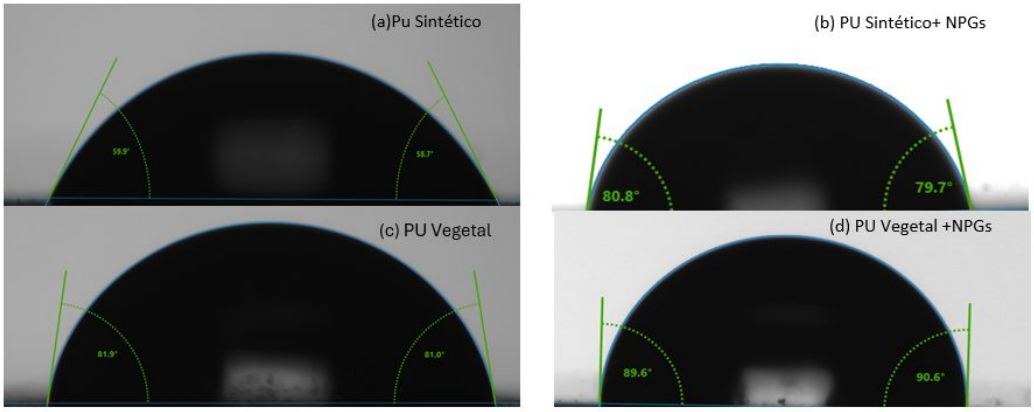
Convém distinguir essa resposta superficial do comportamento volumétrico. O ângulo de contato descreve a interação inicial gota/superfície e é afetado por energia superficial, composição da camada externa e rugosidade. Ele não mede, isoladamente, a difusão de água pelo volume da membrana, que depende de polaridade interna, microvazios, conectividade de caminhos e interface carga/matriz. O incremento do ângulo de contato após a incorporação das NPGs pode estar associado à alteração da energia superficial e à formação de rugosidade micro/nanométrica, mecanismos descritos para PUs modificados com materiais carbonáceos (YARI et al., 2021; SUTHAR et al., 2022; OGUZ et al., 2023).

Tabela 1 – Valores médios de ângulo de contato com água deionizada para as membranas de poliuretano (PU) vegetal e sintético, puras e modificadas com NPGs.

PU	Ângulo de contato (°)	Desvio padrão (°)
Vegetal	81,05	3,02
Vegetal + NPGs	90,06	3,23
Sintético	58,73	2,04
Sintético + NPGs	79,74	5,77

Fonte: os autores.

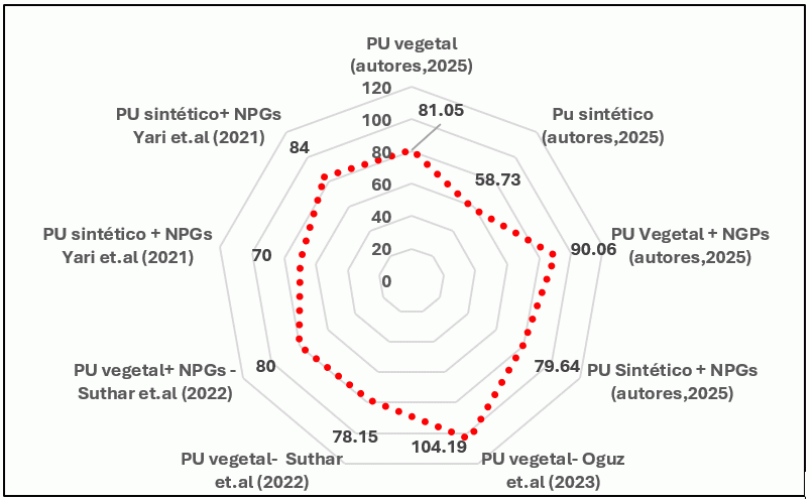
Figura 8 - Imagens representativas do ensaio de ângulo de contato utilizando água deionizada sobre as diferentes superfícies poliméricas: (a) PU sintético (controle); (b) PU sintético modificado com NPGs; (c) PU vegetal (controle); e (d) PU vegetal modificado com NPGs.



Fonte: os autores.

A eficácia das nanoestruturas de grafeno como agente promotor de hidrofobicidade está em consonância com o comportamento reportado na literatura, conforme ilustrado na Figura 9, corrobora a tendência dessas nanoestruturas carbonáceas de elevar o ângulo de contato em matrizes poliméricas.

Figura 9 - Comparação de ângulos de contato obtidos neste estudo com valores reportados na literatura para PUs e nanocompósitos com grafeno.

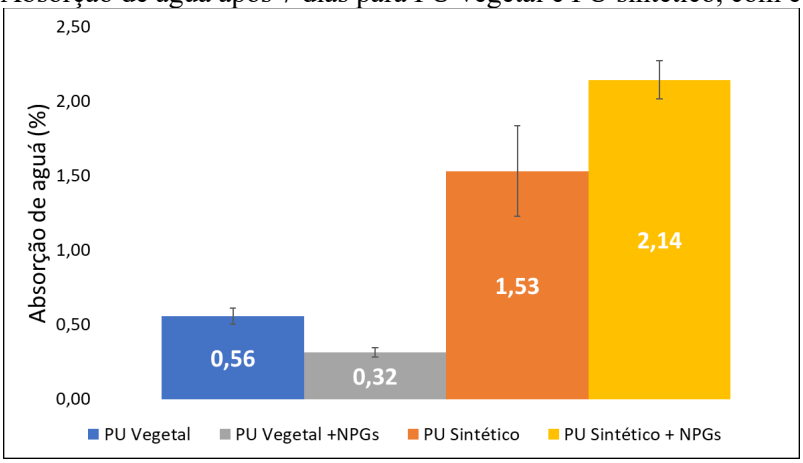


Fonte: os autores, a partir de YARI et al. (2021), SUTHAR et al. (2022) e OGUZ et al. (2023).

4.5 Absorção de água

A Figura 10 apresenta a absorção de água após 7 dias. O PU vegetal apresentou menor absorção em relação ao PU sintético (0,56% contra 1,53%), em coerência com sua maior hidrofobicidade superficial e com a contribuição dos segmentos alifáticos da matriz vegetal.

Figura 10 - Absorção de água após 7 dias para PU vegetal e PU sintético, com e sem NPGs.



Fonte: os autores.

Por outro lado, com a incorporação de NPGs, a absorção do PU vegetal diminuiu para 0,32% (redução de ~43%). Esse comportamento pode ser relacionado ao efeito de barreira descrito para nanocargas lamelares, nas quais a elevada razão de aspecto aumenta a tortuosidade do caminho difusivo da água no interior da matriz polimérica (LIANG et al., 2023). No caso do PU vegetal, esse efeito tende a ser favorecido pelo caráter predominantemente hidrofóbico das cadeias alifáticas do óleo de mamona, que reduz a afinidade global da rede pela água. Assim, mesmo havendo grupos polares na matriz e nas NPGs, a combinação entre matriz menos hidrofílica e fase lamelar dispersa pode dificultar a penetração e a retenção de água no volume da membrana.

No PU sintético, a absorção aumentou para 2,14% (+40%), apesar do maior ângulo de contato. Esse resultado reforça que molhabilidade superficial e absorção volumétrica dependem de fenômenos distintos: o ângulo de contato é controlado pela energia superficial e pela topografia da interface ar/sólido, enquanto a absorção depende da conectividade interna, da afinidade química da rede polimérica e da presença de caminhos difusivos no volume. A literatura sobre PU/GO mostra que grupos oxigenados presentes no óxido de grafeno podem aumentar a afinidade por água quando permanecem acessíveis na matriz, sobretudo se houver microvazios, interfaces mal compactadas ou alterações locais de microfaseamento (BASKAKOV et al., 2023). Portanto, no PU sintético, as NPGs podem ter elevado a hidrofobicidade aparente da superfície, mas simultaneamente favorecido maior retenção hídrica no volume por efeitos interfaciais e pela acessibilidade de grupos polares da nanocarga.

5. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que a incorporação de nanoestruturas derivadas do grafeno altera de forma distinta membranas de PU vegetal e sintético. Em ambas as matrizes, houve aumento de resistência à tração, alongamento e ângulo de contato; contudo, a absorção de água diminuiu apenas na matriz vegetal, enquanto aumentou na matriz sintética. A resposta mais favorável para impermeabilização foi observada no PU vegetal com NPGs, que combinou maior deformabilidade, resistência

mecânica compatível, aumento de dureza e menor absorção de água. No PU sintético, a nanocarga elevou resistência, alongamento e dureza, mas o aumento da absorção indica que a melhoria superficial não garante redução do transporte volumétrico de água.

Do ponto de vista tecnológico, os resultados reforçam a viabilidade de membranas de PU modificadas com derivados de grafeno para proteção de estruturas de concreto, desde que a seleção da matriz considere simultaneamente comportamento mecânico, molhabilidade e absorção. O uso de poliol de origem vegetal representa potencial redução parcial de dependência fóssil, mas sua contribuição ambiental deve ser quantificada futuramente por indicadores de ciclo de vida e desempenho em serviço.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Purcom Química, à CAPES e ao Fundo de Pesquisa Mackenzie (Projeto Mackpesquisa, nº 231021) pelo apoio ao desenvolvimento do estudo.

7. REFERÊNCIAS

AKINDOYO, J. O.; BEG, M. D. H.; GHAZALI, S.; ISLAM, M. R.; JEYARATNAM, N.; YUVARAJ, A. R. **Polyurethane types, synthesis and applications - a review**. RSC Advances, v. 6, n. 115, p. 114453-114482, 2016. DOI: 10.1039/C6RA14525F.

ALMUSALLAM, A. A.; KHAN, F. M.; DULAIJAN, S. U.; AL-AMOUDI, O. S. B. **Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability**. Cement and Concrete Composites, v. 25, n. 4-5, p. 473-481, 2003. DOI: 10.1016/S0958-9465(02)00087-2.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575:2021 - **Edificações habitacionais - desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15487-1:2023**. **Membrana de poliuretano para impermeabilização — Requisitos mínimos de desempenho — Parte 1: Lajes e coberturas em geral**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023

BASKAKOV, S. A. et al. **Mechanical and water absorption properties of waterborne polyurethane/graphene oxide composites**. Materials, v. 16, n. 1, 2023. DOI: 10.3390/ma16010178.

CALLISTER, W. D. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada**. 4. ed. LTC, 2018.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CSA S478: Durability in buildings**. Toronto: CSA, 2019.

CHEN, Q. et al. **Boosting of polyurethane elastomer nanocomposites by low doped graphene**. FlatChem, v. 42, 2023. DOI: 10.1016/j.flatc.2023.100582.

CHEN, Q. et al. **The reinforcement of polyurethane by mini-sized graphene with superior performances**. Chemical Engineering Journal, v. 482, 2024. DOI: 10.1016/j.cej.2024.148668.

COUTINHO, F. M. B.; DELPECH, M. C. **Poliuretanos como materiais de revestimento de superfície**. Polímeros, v. 9, n. 1, p. 41-48, 1999. DOI: 10.1590/S0104-14281999000100006.

DAS, A.; MAHANWAR, P. **A brief discussion on advances in polyurethane applications**. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, v. 3, n. 3, p. 93-101, 2020. DOI: 10.1016/j.aiepr.2020.07.002.

DIMIAN, A. C. et al. **Innovative design and simulation of a castor oil biorefinery**. In: COMPUTER AIDED CHEMICAL ENGINEERING. Amsterdam: Elsevier, 2017. v. 40, p. 1111-1116. DOI: 10.1016/B978-0-444-63965-3.50187-2.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1504-2:2004 - Products and systems for the protection and repair of concrete structures: definitions, requirements,**

quality control and evaluation of conformity - Part 2: Surface protection systems for concrete. CEN, 2004.

LIANG, G. et al. **Improvement of mechanical properties and solvent resistance of polyurethane coating by chemical grafting of graphene oxide**. Polymers, v. 15, n. 4, p. 882, 2023. DOI: 10.3390/polym15040882.

LUDWIG, B. W.; URBAN, M. W. Quantitative determination of isocyanate concentration in crosslinked polyurethane coatings. Journal of Coatings Technology, v. 68, n. 857, p. 93-100, 1996.

OGUZ, B.; HAYRI-SENEL, T.; KAHRAMAN, E.; NASUN-SAYGILI, G. **Improving corrosion resistance and electrical conductivity of sunflower oil based polyurethane coatings by graphene oxide/reduced graphene oxide. Polymer Testing**, v. 124, 2023. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2023.108057.

PAN, X. et al. **A review on surface treatment for concrete - Part 2: Performance. Construction and Building Materials**, v. 133, p. 81-90, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.128.

PELZ, U.; KARLOVŠEK, J. **Spray-applied waterproofing membranes in tunnelling: application and research directions in Australia. Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 122, 2022. DOI: 10.1016/j.tust.2022.104364.

SINH, L. H.; LUONG, N. D.; SEPPÄLÄ, J. **Enhanced mechanical and thermal properties of polyurethane/functionalised graphene oxide composites by in situ polymerisation**. Plastics, Rubber and Composites, v. 48, n. 10, p. 466-476, 2019. DOI: 10.1080/14658011.2019.1664820.

SU, Y. et al. **High-performance castor oil-based polyurethane thermosets: facile synthesis and properties**. Reactive and Functional Polymers, v. 183, 2023. DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2022.105496.

SUTHAR, V.; ASARE, M. A.; DE SOUZA, F. M.; GUPTA, R. K. **Effect of graphene oxide and reduced graphene oxide on the properties of sunflower oil-based polyurethane films**. Polymers, v. 14, n. 22, p. 4974, 2022. DOI: 10.3390/polym14224974.

TAYOURI, M. I. et al. **Degradation of polymer nanocomposites filled with graphene oxide and reduced graphene oxide nanoparticles: a review of current status**. Polymer Degradation and Stability, v. 206, 2022. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2022.110179.

TSUKAGOSHI, M.; MIYAUCHI, H.; TANAKA, K. **Protective performance of polyurethane waterproofing membrane against carbonation in cracked areas of mortar substrate**. Construction and Building Materials, v. 36, p. 895-905, 2012. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.06.072.

WONG, C. S.; BADRI, K. H. Chemical analyses of palm kernel oil-based polyurethane prepolymer. Materials Sciences and Applications, v. 3, p. 78-86, 2012. DOI: 10.4236/msa.2012.32012.

YANG, X. F. et al. **Weathering degradation of a polyurethane coating**. Polymer Degradation and Stability, v. 74, p. 341-351, 2001.

YARI, H.; MAHDAVIAN, M.; RAMEZANZADEH, B.; MAHMUDZADEH, M. **Enhanced outdoor durability of polyurethane nanocomposite coatings with green reduced graphene oxide nanoplatelets**. Progress in Organic Coatings, v. 154, p. 106212, 2021. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2021.106212.

ZHAO, H. et al. **Recent advances in superhydrophobic polyurethane: preparations and applications**. Advances in Colloid and Interface Science, v. 303, p. 102644, 2022. DOI: 10.1016/j.cis.2022.102644.

ZHU, X. et al. **Current advances of polyurethane/graphene composites and its prospects in synthetic leather: a review**. European Polymer Journal, v. 161, 2021. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2021.110837.

CAPÍTULO 36 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/vzfk7s82
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/s4xns984

ESTUDO DA REOLOGIA E TRABALHABILIDADE DO ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITES (ECC) COM CINZA DE CASCA DE ARROZ

Débora Pedroso Righi[1]*, Thiago Favarini Beltrame[2], Luiz Carlos Pinto da Silva Filho[3]
*Autor de contato: righi.p.debora@gmail.com
[1] Departamento de Engenharia Civil, LEME - UFRGS, Porto Alegre, Brasil
[2] Departamento de Engenharia Civil, Faculdade FTEC, Porto Alegre, Brasil
[3] Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

O Engineered Cementitious Composite (ECC) é um tipo especial de compósito a base de cimento, reforçado com fibras, que apresenta alto desempenho mecânico e de durabilidade, acompanhado do controle da fissuração. Sua principal característica é a elevada ductilidade, devido à capacidade que tem de gerar fissuração múltipla sob solicitações de carregamento. Neste intuito, fibras de polipropileno têm sido utilizadas em conjunto com a cinza da casca de arroz (CCA), visando a confecção de misturas que sejam mais viáveis economicamente e ambientalmente sustentáveis. O presente trabalho teve como objetivo principal o estudo de misturas de (ECC) com fibras de polipropileno e elevados teores de CCA, sob aspectos reológicos e mecânicos. Esta avaliação visa compreender as características deste compósito, com intuito de estabelecer a melhor aplicabilidade deste material na construção civil e infraestrutura. Nesta pesquisa os ECCs foram obtidos em porcentagens de 30%, 50% e 70% de substituição em massa do cimento por CCA sem controle de queima, denominada neste estudo de CCA residual. Foram realizados ensaios reológicos da matriz cimentícia por meios de tensão de escoamento e viscosidade plástica e ensaio mecânico de flexão á 4 pontos. Os resultados obtidos indicaram que o traço com 50 % foi o que apresentou melhores resultados em todos os parâmetros estudados.

Palavras-chave: ECC; cinza de casca de arroz; durabilidade.

ABSTRACT

Engineered Cementitious Composite (ECC) is a special type of fiber-reinforced cement-based composite that exhibits high mechanical and durability performance, together with crack control. Its main characteristic is high ductility, due to its ability to develop multiple cracking under loading conditions. With this objective, polypropylene fibers have been used together with rice husk ash (RHA) in order to produce mixtures that are more economically viable and environmentally sustainable. The main objective of this study was to investigate ECC mixtures with polypropylene fibers and high contents of RHA, considering both rheological and mechanical aspects. This evaluation aims to understand the characteristics of this composite in order to establish the best applicability of this material in civil construction and infrastructure.In this research, ECC mixtures were produced with 30%, 50%, and 70% replacement of cement by mass with uncontrolled-burn rice husk ash, referred to in this study as residual RHA. Rheological tests of the cementitious matrix were performed by measuring yield stress and plastic viscosity, and mechanical performance was evaluated through four-point bending tests. The results indicated that the mixture with 50% replacement presented the best performance for all studied parameters.

Keywords: ECC; rice husk ash; pavement durability.

1. INTRODUÇÃO

Na última década, grandes avanços foram realizados com relação aos Engineered Cementitious Composites (ECC). O ECC é uma classe de compósitos cimentícios reforçados com fibras de alto desempenho (HPFRCC), que apresenta alta ductilidade e resistência à tração, com adição de 2% de fibra (LI, 2007; RIGHI et al., 2017).

O diferencial do ECC é apresentar comportamento de endurecimento por deformação (*strain-hardening*), por meio do desenvolvimento de múltiplas microfissuras, cuja abertura é autocontrolada, resultando em tenacidade à fratura semelhante à de ligas de alumínio. Esses compósitos foram desenvolvidos para aplicações que demandam alta ductilidade, como estruturas localizadas em regiões sujeitas a terremotos e aquelas expostas a ambientes agressivos. Essas características permitem classificar esse compósito como superior ao concreto convencional sob solicitações severas (ZHANG; ZHANG, 2018).

A deformação desses compósitos possui uma capacidade na faixa de 3-5%, cerca de 300 a 500 vezes a mais que o concreto e o concreto reforçado com fibras (FRC). Alguns estudos já demonstram experimentalmente a utilização desse material em elementos estruturais tais como vigas (LI e WANG, 2002), pilares (FISCHER e LI, 2002), paredes (KESNER e BILLINGTON, 2002) e ancoragem estrutural (PARRA-MONTESINOS e WIGHT, 2000).

O ECC já supera elementos estruturais convencionais, como o concreto armado, em termos de capacidade de carga, deformabilidade e capacidade de absorção de energia sob condições de carregamento monotônico e cíclico (MA et al., 2021).

A capacidade de produzir ECC em escala comercial, com propriedades mecânicas consistentes, é crucial para a aceitação desse material de construção em diversas aplicações estruturais. A hipótese é que a variação na resistência à tração do ECC se deve, principalmente, à influência da reologia durante a mistura dos materiais, a qual rege o comportamento mecânico do compósito. Notavelmente, a maioria dos ECCs desenvolvidos no meio acadêmico internacional utiliza fibras curtas de PVA distribuídas aleatoriamente, com uma fração volumétrica de 2%. Durante a mistura do ECC, as fibras são adicionadas à matriz cimentícia (cimento, cinza volante, areia, água e aditivo) até que a mistura adquira o aspecto de uma argamassa reforçada com fibras (ZHANG; ZHANG, 2018; FEI et al., 2021).

Os detalhes de processamento, como tipo de misturador, velocidade de mistura, tempo e sequência, e a experiência da mão de obra podem influenciar as propriedades reológicas da matriz cimentícia do ECC (ECC antes da adição de fibras) e afetar fortemente a uniformidade de dispersão de fibra, distribuição de tamanho dos poros de ar aprisionados na matriz e as propriedades de ligação na fibra / matriz no estado endurecido.

Adicionalmente, embora 2% de fibras de PVA são comumente usadas para misturas de ECC, os materiais da matriz de diferentes lugares ou escolhidos para funções específicas, por exemplo, alta resistência inicial, pode levar a alterações nas propriedades reológicas e na microestrutura do ECC devido a mudanças plausíveis no tamanho de grão de partícula e a absorção de água (LI e LI, 2013).

Para que este tipo de compósito seja utilizado em escala comercial é primordial garantir a repetibilidade do comportamento mecânico e principalmente garantir uma trabalhabilidade adequada para que possa ser realizada a moldagem dos elementos estruturais semelhante ao

concreto convencional. No Brasil, o ECC está sendo estudado com o uso da fibra de polipropileno e o uso da cinza de casca de arroz em sua matriz cimentícia e há poucos estudos sobre as propriedades reológicas desse material visando obter diferentes trabalhabilidades para diferentes aplicações. Assim este estudo visa estudar a viscosidade plástica e parâmetros mecânicos do ECC com materiais brasileiros para nortear as possíveis aplicações deste material na construção civil brasileira.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os principais constituintes da matriz de ECC são cimento Portland CP-V, areia fina, cinza de casca de arroz, água e aditivo superplastificante. Para a produção dos compósitos foi utilizado cimento Portland CP V-ARI (alta resistência inicial), apresentando massa específica de 3,11 g/cm³, diâmetro médio de partículas de 9,65 µm e perda ao fogo de 3,06%. A areia empregada é de origem natural, de natureza quartzosa, com massa específica de 2,52 g/cm³, módulo de finura de 0,67 e diâmetro máximo de 0,3 mm.

No estudo também foi utilizado um aditivo superplastificante à base de éter policarboxílico, conhecido por sua elevada eficiência na redução do teor de água quando comparado a aditivos convencionais.

Para o reforço da matriz cimentícia do ECC foram incorporadas fibras de polipropileno, escolhidas por seu baixo custo e por apresentarem propriedades específicas relacionadas à sua cadeia polimérica, a qual influencia diretamente sua resistência e comportamento mecânico. O polipropileno é um material plástico inodoro, incolor e atóxico, com densidade de 900 kg/m³. Neste experimento foi adotado um teor de 2% de fibras de polipropileno em relação ao volume total do compósito, com alta tenacidade, cujas propriedades são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades da Fibra de Polipropileno

Características	
Densidade (g/cm³)	0,91
Comprimento (mm)	10,00
Diâmetro (µm)	12,00
Resistência à Tração (MPa)	850,00
Alongamento na Ruptura (%)	21,00

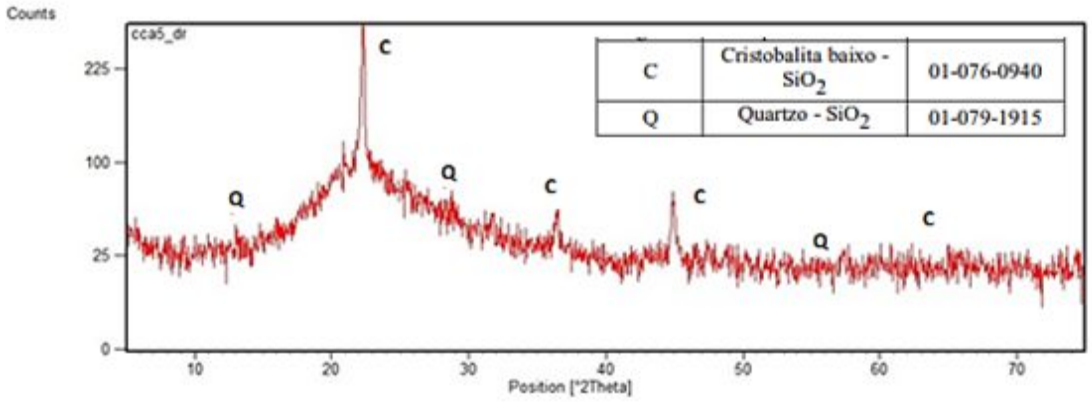
Fonte: os autores.

A cinza de casca de arroz utilizada neste trabalho é proveniente da queima sem controle de temperatura, sendo empregada como combustível no processo de parboilização dos grãos de arroz. Esse processo de combustão ocorre de forma rápida em fornalhas com grelha, gerando como resíduo uma cinza de coloração predominantemente preta ou cinza-escura.

Para possibilitar sua utilização como substituição parcial do cimento na produção dos ECCs, a cinza passou por um processo de redução granulométrica por meio de moagem durante 8 horas em moinho de bolas. O equipamento utilizado possui dimensões de 310 mm de altura e 275 mm de diâmetro, contendo 75 esferas de moagem com 38 mm de diâmetro.

A Tabela 2 apresenta as características físicas e químicas da cinza de casca de arroz utilizada neste estudo após o processo de moagem, enquanto a Figura 1 mostra o difratograma correspondente ao material empregado.

Figura 1 – Difratograma da cinza de casca de arroz



Fonte: os autores.

Tabela 2 – Propriedades químicas e físicas da CCA

Composição Química (%)	CCA
SiO_2	65,83
K_2O	1,07
CaO	0,44
P_2O_5	0,33
Fe_2O_3	0,34
MnO	0,27
SO_3	0,05
Al_2O_3	0,06
MgO	0,08
CO_2	31,33
Massa específica (g/cm³)	2,06
Tamanho médio do grão (µm)	3,59
Perda ao fogo (%)	13,99
Atividade pozolânica (%)	162,48

Fonte: os autores.

2.2 Mistura e moldagem dos corpos-de-prova

A mistura dos materiais do ECC foi realizada em um misturador mecânico planetário, específico para argamassas, com capacidade de 2 litros. Inicialmente, os materiais secos (cimento, areia e CCA) foram colocados no misturador e homogeneizados até a obtenção de uma mistura de pós uniforme. Em seguida, procedeu-se à adição da água de amassamento e do aditivo superplastificante.

A pasta obtida nesta etapa de mistura é extremamente fluida e foi utilizada para o ensaio de viscosidade plástica. Para os ensaios mecânicos, foram adicionadas fibras à mistura, sendo necessários 3 minutos de rotação em velocidade elevada para a completa dispersão das fibras.

2.3 Programa experimental

Neste programa experimental foram avaliadas nove misturas de ECC, considerando três níveis de substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz proveniente de queima sem controle de temperatura, nos teores de 30%, 50% e 70%. As proporções das misturas de ECC com a incorporação da cinza de casca de arroz (CCA) residual estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Dosagem dos Traços Estudados

Nomenclatura	Descrição	CP-V	CCA	Areia Fina	Fibra PP	Aditivo	Água
30ECC	30% de CCA	747,29	295,27	738,19	18	5,90	435,04
50ECC	50% de CCA	566,47	476,09	714,14	18	5,71	476,09
70ECC	70% de CCA	397,06	645,50	691,61	18	5,53	533,00

Fonte: os autores.

Com o objetivo de minimizar a baixa trabalhabilidade do ECC contendo cinza de casca de arroz residual, realizou-se inicialmente um estudo da reologia das misturas com CCA nos três teores de substituição indicados na Tabela 3 deste estudo. Para isso, foram conduzidas análises reológicas e de trabalhabilidade tanto da matriz cimentícia sem a presença de fibras quanto do compósito reforçado com fibras.

Para obter diferentes níveis de trabalhabilidade, foi proposta a variação do teor de aditivo superplastificante em diferentes intervalos. Esses intervalos foram definidos com o intuito de identificar possíveis efeitos mais sensíveis sobre os parâmetros de projeto que influenciam o comportamento no estado fresco, bem como as propriedades reológicas e mecânicas dos compósitos (Tabela 4).

Tabela 4 – Nomenclatura dos traços adotados

Denominação	Código
30ECC com proporção de aditivo 0,6%	30ECC-0,6
50ECC com proporção de aditivo 0,6%	50ECC-0,6
70ECC com proporção de aditivo 0,6%	70ECC-0,6
30ECC com proporção de aditivo 0,7%	30ECC-0,7
50ECC com proporção de aditivo 0,7%	50ECC-0,7
70ECC com proporção de aditivo 0,7%	70ECC-0,7
30ECC com proporção de aditivo 0,8%	30ECC-0,8
50ECC com proporção de aditivo 0,8%	50ECC-0,8
70ECC com proporção de aditivo 0,8%	50ECC-0,8

Fonte: os autores.

Com o objetivo de avaliar o comportamento reológico das misturas de ECC, foram realizados ensaios para determinação da viscosidade plástica e do torque, utilizando-se o modelo de Bingham, amplamente empregado para a determinação dos parâmetros reológicos — tensão de escoamento e viscosidade plástica — de argamassas e concretos.

A viscosidade plástica foi determinada por meio de um viscosímetro rotacional cilíndrico concêntrico de paredes lisas (Brookfield DV-II + Pro), operando a uma temperatura de 23 ± 2 ºC. A viscosidade da matriz cimentícia do ECC foi medida em diferentes velocidades de rotação, variando de 0 a 100 rpm, o que corresponde a uma taxa de cisalhamento de aproximadamente

34 s^{-1}. Posteriormente, a velocidade de rotação foi gradualmente reduzida de 100 para 0 rpm. Durante o ensaio, as amostras foram submetidas à tensão de cisalhamento por um período de 20 segundos em cada taxa de cisalhamento estabelecida.

Para o ensaio mecânico foi realizado o ensaio de flexão à quatro pontos. Baseado em Magalhães (2010), o ensaio tem como base a Norma ASTM C1609 – Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete, realizados a quatro pontos. Os corpos de prova têm dimensões de 300 mm x 70 mm x 15 mm onde a carga aplicada concentra-se igualitariamente dividida entre os dois terços do vão, a uma distância de 77 mm dos apoios e o vão possuir 231 mm de distância entre os apoios. O mesmo possui dois LVDTs com comprimento de 10 mm, para medir deslocamento do corpo de prova, um posicionado na vertical e outro na horizontal. A velocidade adotada no carregamento foi de 1,2 mm/minuto.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Viscosidade Plástica e Torque

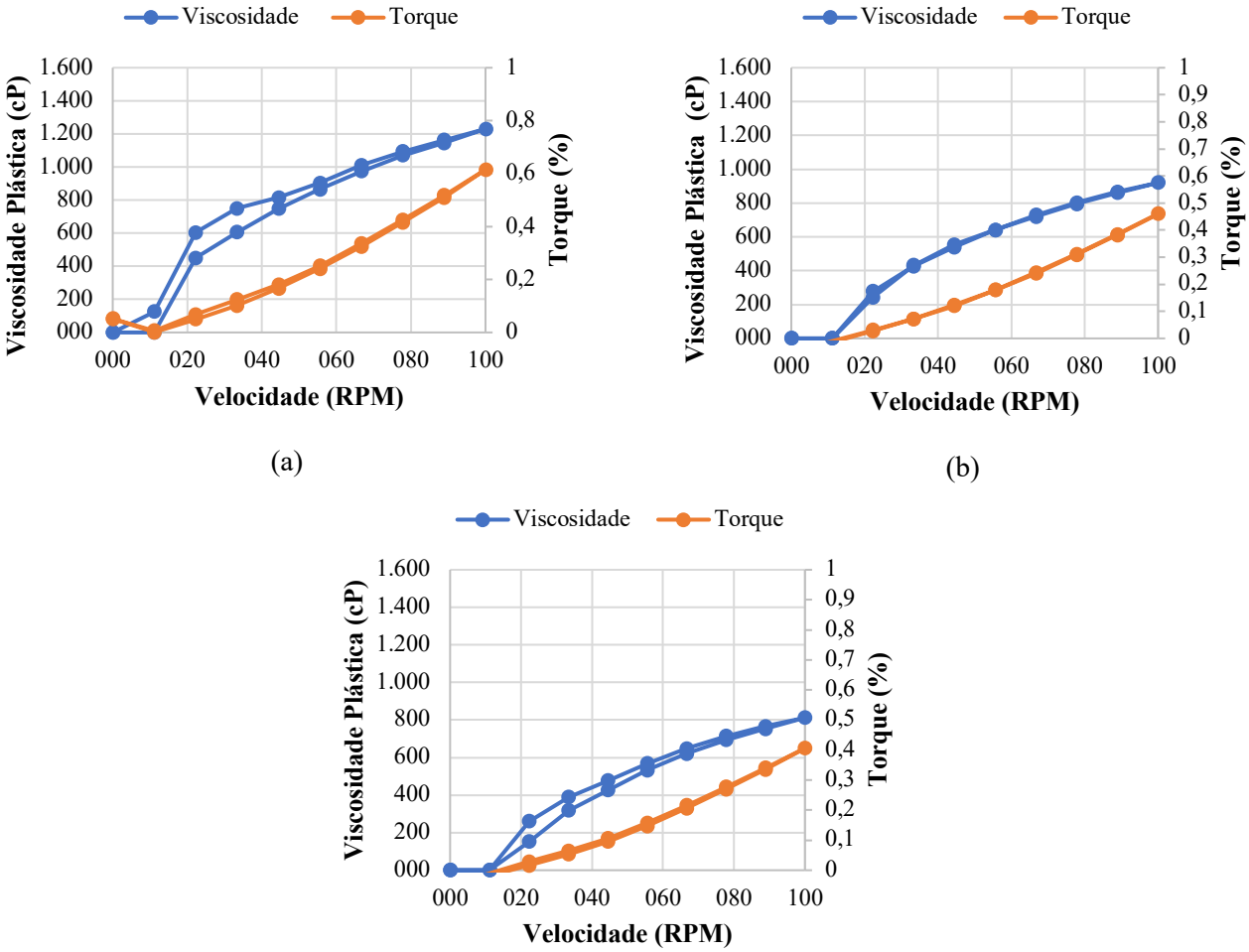
A reologia é a ciência que estuda o escoamento e a deformação dos materiais, analisando a relação entre tensão, deformação e tempo. A avaliação da viscosidade plástica é fundamental para verificar a eficiência da dispersão das fibras de polipropileno na matriz cimentícia do ECC. De acordo com Sahmaran et al. (2013), a viscosidade plástica deve ser suficientemente elevada para garantir a estabilidade da matriz e favorecer uma melhor dispersão das fibras.

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para os três traços com CCA, considerando teores de aditivo superplastificante de 0,6% (Figura 2(a)), 0,7% (Figura 2(b)) e 0,8% (Figura 2(c)). Para o traço 30ECC-0,6, a viscosidade plástica atinge aproximadamente 800 cP na velocidade máxima de 100 rpm. À medida que a velocidade é reduzida de 100 rpm para 0 rpm, observa-se que a viscosidade permanece praticamente constante até cerca de 70 rpm; abaixo dessa velocidade ocorre uma leve redução. Na análise do torque, expresso em porcentagem, verifica-se que não há perda de desempenho com a diminuição da velocidade, apresentando valor máximo de aproximadamente 0,4%.

No traço com aumento do teor de aditivo para 0,7% (30ECC-0,7), observa-se um acréscimo na viscosidade plástica, passando de 800 cP para cerca de 920 cP na velocidade de 100 rpm. Além disso, não se verifica perda de viscosidade com a redução da velocidade de rotação. O torque também apresenta um leve aumento na velocidade máxima em comparação ao traço 30ECC-0,6, correspondendo a um acréscimo de aproximadamente 13,04%.

Para o teor de 0,8% de aditivo, verifica-se um aumento ainda maior da viscosidade na velocidade de 100 rpm, atingindo um valor máximo de aproximadamente 1230 cP. Esse resultado representa um incremento de 53,75% em relação ao traço 30ECC-0,6 e de 33,60% em relação ao traço 30ECC-0,7. Observa-se também uma redução gradual da viscosidade à medida que a velocidade diminui até 0 rpm, sendo essa queda mais evidente a partir de cerca de 30 rpm. Consequentemente, o aumento da viscosidade resultou também em um aumento do torque da mistura, que atingiu um valor máximo de aproximadamente 0,6% na velocidade de 100 rpm.

Figura 2 – Curvas de viscosidade de torque para as misturas 30% de CCA residual (a) 30ECC1-0,6, (b) 30ECC-0,7 e (c) 30ECC-0,8



(a) (b)

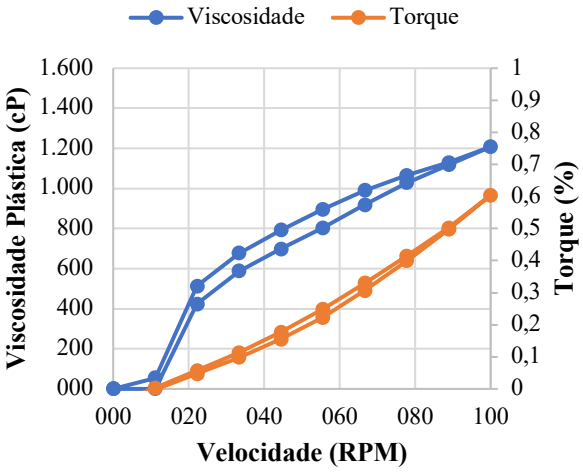
(c)

Fonte: os autores.

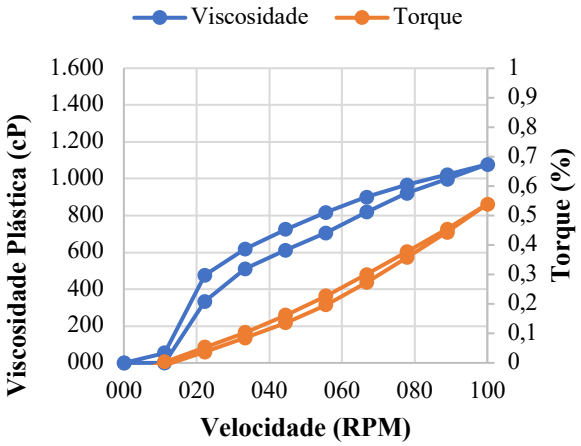
Para os traços com 50% de CCA residual, nas três porcentagens de aditivo, é possível observar que, em relação aos traços com 30% de CCA residual, ocorre um aumento da viscosidade e do torque das misturas (Figura 4). Os traços 50ECC-0,6 (Figura 3(a)) e 50ECC-0,7 (Figura 3(b)) apresentaram comportamento muito semelhante entre si, tanto para a viscosidade plástica quanto para o torque das misturas. Ambos os traços apresentaram valores máximos de viscosidade e torque da ordem de 1000 cP e 0,5%, respectivamente.

Para o traço 50ECC-0,8 (Figura 3(c)), percebe-se um aumento da viscosidade na velocidade máxima de 100Rpm, obtendo um valor de 1230 cP e um torque de 0,6%. Conforme Aïtcin e Jolicoeur (1994) a melhora na fluidez pode ser explicada por ter ocorrido uma melhor dispersão das partículas sólidas por meio de forças de repulsão do aditivo superplastificante.

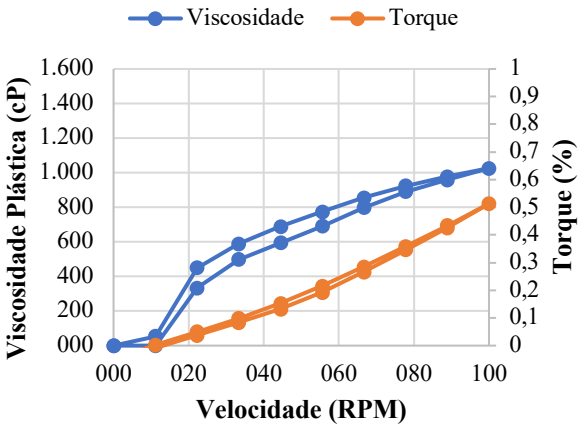
Figura 3 – Curvas de viscosidade de torque para as misturas 50% de CCA residual (a) 50ECC-0,6, (b) 50ECC-0,7 e (c) 50ECC-0,8



(a)



(b)



(c)

Fonte: os autores.

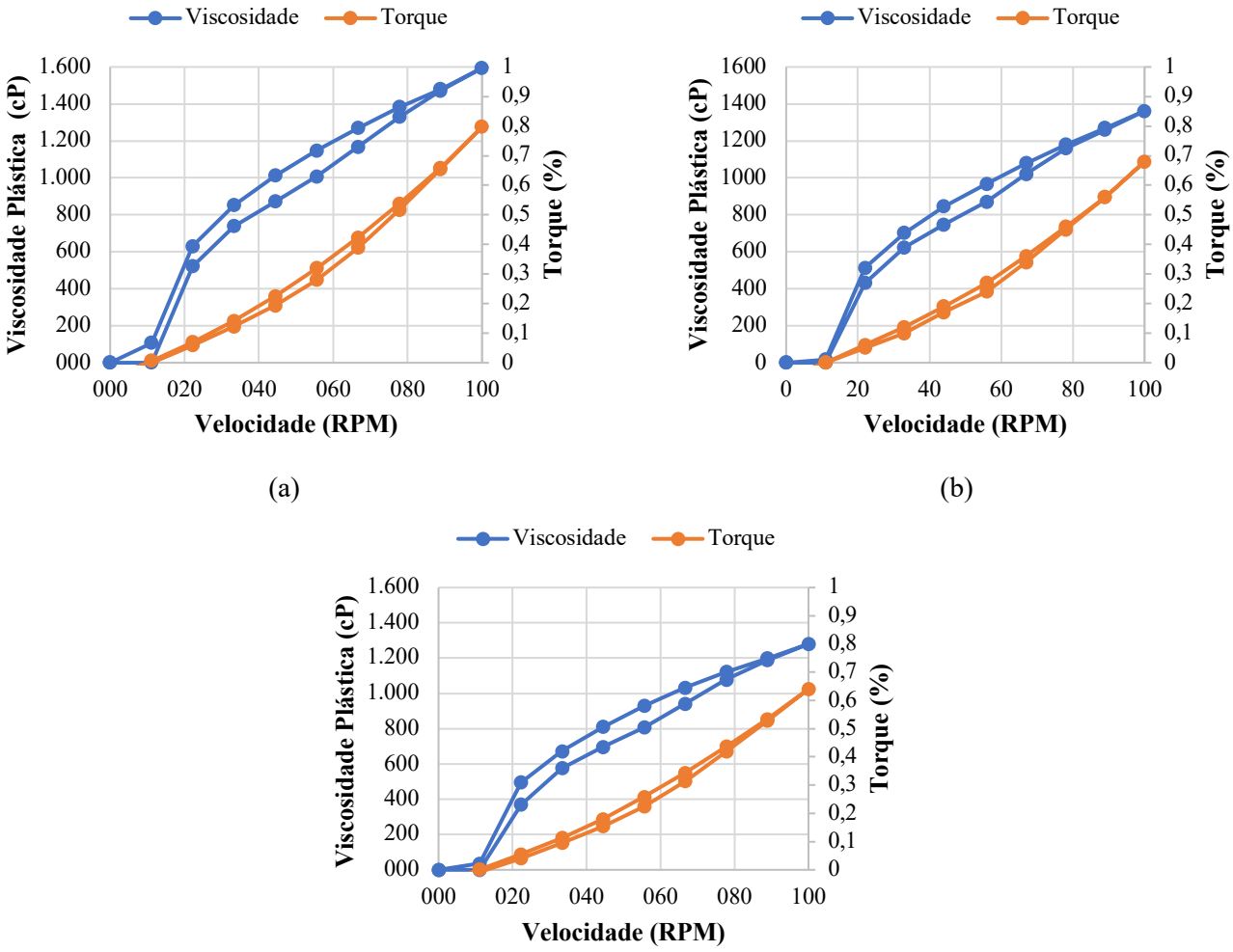
As forças atuantes entre as partículas de cimento compreendem as forças de van der Waals (forças de atração) e as forças de repulsão eletrostática geradas pela carga elétrica presente na superfície das partículas. Com a adição de aditivos, as forças de repulsão eletrostática são intensificadas e, consequentemente, forças de repulsão estérica são geradas, resultando no aumento da densidade local devido à sobreposição de camadas de aditivo adsorvido (FLATT; BOWEN, 2003).

Outro fator que pode explicar o aumento da viscosidade com o incremento do teor de aditivo está relacionado às forças viscosas, que são proporcionais à diferença de velocidade de deslocamento entre as partículas de cimento e a água circundante, bem como entre os agregados e a pasta de cimento que os envolve. Como os materiais à base de cimento se enquadram na faixa de suspensões densas, as partículas precisam se afastar, especialmente quando aglomerados são formados, processo influenciado pela ação dos aditivos superplastificantes (MA et al., 2021).

A Figura 5 ilustra a porcentagem de 70% de CCA residual para as três porcentagens de aditivos escolhidas para esta etapa. É possível observar que à medida que se aumentou o teor de substituição do cimento Portland CP V-ARI RS por CCA residual houve um aumento do torque e da viscosidade plástica. O traço 70ECC-0,6 (Figura 4(a)) obteve uma viscosidade máxima de 1280 cP e um torque

máximo de 0,65%. Também é possível perceber que ocorre uma perda da viscosidade conforme a velocidade sofre uma redução de 100 Rpm até 0 Rpm, já as curvas de torque se mantiveram semelhantes tanto na aceleração quanto na redução da velocidade.

Figura 4 – Curvas de viscosidade de torque para as misturas 70% de CCA residual (a) 70ECC1-0,6, (b) 70ECC-0,7 e (c) 70ECC-0,8



Fonte: os autores.

O traço 70ECC-0,7 (Figura 4(b)) apresentou um leve incremento no valor máximo da viscosidade plástica em relação ao traço 70ECC-0,6, de aproximadamente 11,34%. Também é possível observar um comportamento muito semelhante ao do traço 70ECC-0,6, com curvas de aceleração e redução da velocidade bastante análogas. Em relação ao traço 70ECC-0,8 (Figura 4(c)), nota-se um aumento da viscosidade em comparação às demais porcentagens de aditivo, bem como em relação aos demais traços com diferentes níveis de substituição de cimento por CCA residual.

A viscosidade máxima na velocidade de 100 Rpm foi de 1594 cP e um torque de 0,8%. Acredita-se que o aumento da viscosidade neste caso possa estar atrelado ao aumento da porcentagem de CCA residual, pois o aumento da viscosidade está muito correlacionado com a distribuição granulométrica e da forma das partículas presentes.

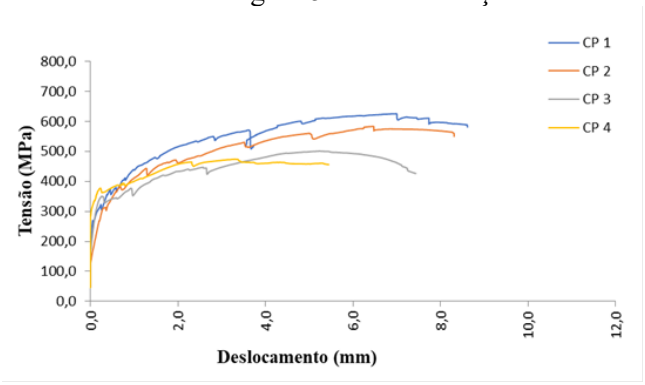
Segundo Nehdi et al. (1998) a viscosidade geralmente aumenta à medida que se afasta da curva granulométrica ideal e atinge um mínimo para um determinado volume de água e para um arranjo de partículas mais compacto. Além do mais, qualquer divergência da forma esférica implica no aumento da viscosidade para um volume de pasta constante. Assim, na presença superplastificante, quanto mais fina e mais esférica for a adição mineral incorporada, melhores serão as propriedades reológicas da mistura.

4.2 Resistência à tração na flexão

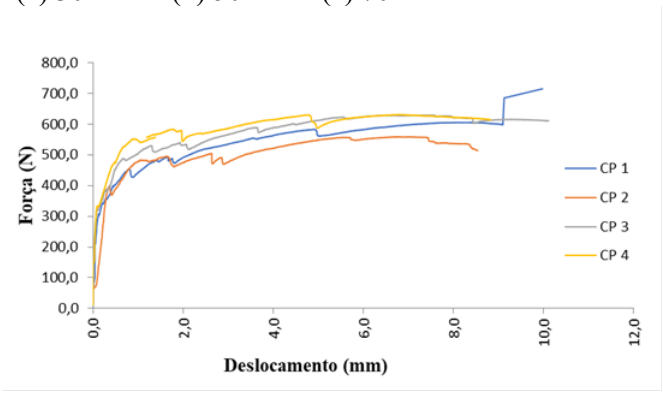
Para o ensaio mecânico de flexão a quatro pontos, foram moldados apenas os traços que apresentaram melhor desempenho nos ensaios de viscosidade e torque; assim, foram utilizados os traços com 0,7% de aditivo. A Figura 5 apresenta as curvas força × deslocamento para os traços com 30% de CCA (Figura 5(a)), 50% de CCA (Figura 5(b)) e 70% de CCA (Figura 5(c)).

Para o traço com 30% de CCA residual (30ECC), é possível observar que todos os corpos de prova apresentaram comportamento mecânico muito semelhante entre si. Observa-se o comportamento strain-hardening após a abertura da primeira fissura, o que resulta no desenvolvimento da múltipla fissuração. Esse comportamento também foi observado por diversos autores, como Li (2007) e Yang et al. (2007).

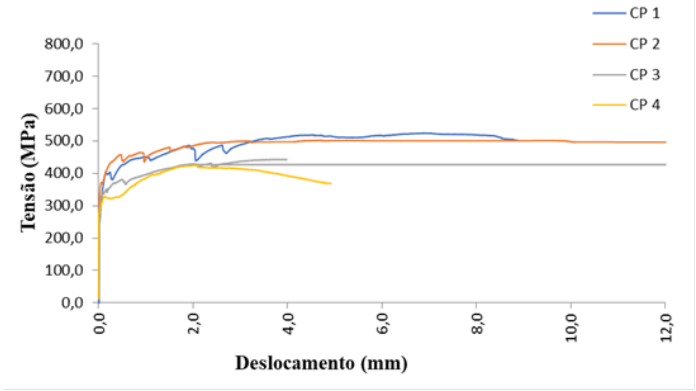
Figura 5 – Curvas força x deslocamento (a) 30ECC 1 (b) 50ECC1 (c) 70ECC1



(a)



(b)



(c)

Fonte: os autores.

A flecha média obtida para o traço 30ECC1 ficou em torno de ± 7 mm caracterizando a elevada capacidade de deformação pós-pico de carregamento. O comportamento strain-hardening foi desenvolvido no traço 30ECC1, ou seja, ganho de resistência após a abertura da primeira fissura e

o desenvolvimento da múltipla fissuração. O traço de 50ECC também obteve uma uniformidade entre os corpos de prova, garantindo a confiabilidade nos resultados. Analisando o traço com 50% de CCA (50ECC) com o traço de 30% de CCA (30ECC) é possível notar que o traço 50ECC1 possui deslocamentos muito semelhantes ao traço 30ECC, em torno de 8mm, e que o comportamento *strain-hardening* fica muito evidente neste traço.

O processo de costura gerado pelas fibras permitiu que o comportamento de múltipla fissuração desenvolvesse. Para o traço 50ECC, o comportamento *strain-hardening* pode ser melhor observado entre os três traços estudados, com o desenvolvimento da múltipla fissuração e ganhos de deslocamento da ordem de 8 mm em todos os corpos de prova. Já o traço 70ECC apresentou uma leve redução na força aplicada em relação aos demais traços; entretanto, a múltipla fissuração e o comportamento *strain-hardening* também foram observados.

A porcentagem de 70% de CCA residual apresentou um comportamento levemente inferior aos demais traços estudados. Após o aparecimento da primeira fissura, o processo de múltipla fissuração tornou-se evidente em todos os corpos de prova. No entanto, após um deslocamento de 5 mm, iniciou-se uma estabilização da força, sem maiores ganhos de resistência, e o desenvolvimento da múltipla fissuração tornou-se menos evidente.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios indicaram que há um excesso de partículas grossas e uma deficiência de partículas mais finas, deixando o empacotamento das partículas descontínuo, o que descaracteriza as propriedades de micromecânica deste tipo de compósito.

Em relação aos termos reológicos das misturas de ECC estudadas, é possível perceber que há necessidade de estudar com maior riqueza de detalhes a reologia, para que se possa modificar a trabalhabilidade atual do ECC em diferentes condições, para que assim possa-se compreender onde melhor deve ser empregado este tipo de material na construção civil brasileira.

Em relação ao ensaio de viscosidade plástica e à análise do torque, foi possível observar que, à medida que o teor de substituição aumentou, ocorreu um leve incremento nos valores de viscosidade plástica e de torque. Também se observa que o aumento da porcentagem de aditivo resultou em um leve aumento nos valores dessas duas variáveis analisadas.

Com relação ao ensaio de flexão, observou-se que no aumento de 50% para 70% de CCA residual, o comportamento *strain-hardening* não fica tão evidente, o que consequentemente não favorece o desenvolvimento da múltipla fissuração, descaracterizando assim as principais propriedades do ECC.

Os ECCs associados com a CCA residual na porcentagem de 50%, para os ensaios estudados apresentaram melhores resultados, e se constituem de uma alternativa promissora para utilização no Brasil, como material para a construção civil.

REFERÊNCIAS

AÏTCIN, P. C.; JOLICOEUR, C.; MACGREGOR, J. G. **Superplasticizers: how they work and why they occasionally don't.** Concrete International, v.16, n. 5, p. 45–52, 1994.
AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1609/C1609M – Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete**. Pennsylvania, p. 9, 2016.

FEI, W.; YUTONG, Y.; SHIPING, Y. **Thermal and moisture performance parameters of high toughness engineered cementitious composite (ECC) with PVA fibers**. Journal of Building Engineering, v. 43, p. 102905–102912, 2021.

FISCHER, G., Li, V. C. **Effect of matrix ductility on deformation behavior of steel reinforced ECC flexural members under reversed cyclic loading conditions.** ACI Structural Journal, v. 99, p. 781–790, 2002.

FLATT, R. J.; BOWEN, P. **Electrostatic repulsion between particles in cement suspensions: domain of validity of linearized Poisson-Boltzmann equation for nonideal electrolytes.** Cement and Concrete Research, v. 33, n. 6, 781–791, 2003.

KESNER, K.; BILLINGTON, S. L. **Experimental response of precast infill panels made with DFRCC**. JCI International Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC), p. 289–298, 2002.

LI, M.; LI, V. C. **Rheology, fiber dispersion, and robust properties of engineered cementitious composites.** Materials and Structures, v. 46, p. 405–420, 2013.

LI, V. C. **Integrated structures and materials design.** Materials and Structures, v. 40, n. 4, p. 387–396, 2007.

LI V. C.; WANG, S. **Flexural behavior of GFRP reinforced engineered cementitious composites beams.** ACI Materials Journal, v. 99, p.11–21, 2002.

MA, H.; YI, C.; WU, C**. Review and outlook on durability of engineered cementitious composite (ECC).** Construction and Building Materials, v. 287, p. 122719–122730, 2021.

MAGALHÃES, M. S.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E**. M. R. Influence of local raw materials on the mechanical behaviour and fracture process of PVA-SHCC.** Materials Research, v. 17, p. 146–156, 2014.

PARRA-MONTESINOS, G.; WIGHT, J. K. **Seismic response of exterior RC column-to-steel beam connections.** Journal of Structural Engineering, v. 126, p. 1113–1121, 2000.

RIGHI, D. P.; COSTA, F. B. P.; GRAEFF, A. G.; SILVA FILHO, L. C. P. **Tensile behaviour and durability issues of engineered cementitious composites with rice husk ash.** Matéria, v. 22, n. 2, p. 1–9, 2017.
YANG, E. H.; YANG, Y.; LI, V. **Use of high volumes of fly ash improve ecc mechanical properties and material grenness.** ACI Materials Journal, v. 104, p. 620–628, 2007.

ZHANG, Z.; ZHANG, Q. **Matrix tailoring of engineered cementitious composites (ECC) with non-oil-coated, low tensile strength PVA fiber.** Construction and Building Materials, v. 161, p. 420–431, 2018.

CAPÍTULO 37 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/pyh4xn23
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/dtkpky09

DESEMPENHO DO CIMENTO PARA DIFERENTES LOTES NO FORNECIMENTO AO LONGO DE UM PERÍODO DE SEIS MESES

Diecson Ronei Meotti[1], Gustavo Alexandre Ferraz de Carvalho e Souza[2]*; Eduardo Polesello[3];
*Autor de contato: gustavodecarvalhoesouza@gmail.com

[1] Curso de Engenharia Civil, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil
[2] Curso de Engenharia Civil, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil
[3] Curso de Engenharia Civil, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil

RESUMO

O cimento Portland é amplamente utilizado na construção civil devido às suas propriedades de resistência e endurecimento. Contudo, variações em sua composição, relacionadas às matérias-primas e às adições minerais, podem influenciar o desempenho entre diferentes lotes. Este estudo analisou amostras de uma mesma classe de cimento coletadas durante seis meses. Foram avaliadas a massa específica, a resistência à compressão axial e o calor de hidratação por meio de curvas calorimétricas obtidas em calorímetro semi-adiabático. Também foram registrados os tempos de início e fim de pega das pastas de cimento. Os resultados mostraram variações na massa específica das amostras. Todas atenderam às exigências normativas de resistência à compressão. Aos 28 dias não houve influência significativa do lote na resistência. Entretanto, nas idades de 3 e 7 dias foram observadas diferenças relacionadas à mudança de lote. Amostras com maior temperatura apresentaram menores intervalos entre início e fim de pega.
Palavras-chave: cimento, resistência à compressão, calor de hidratação.

ABSTRACT

Portland cement is widely used in civil construction due to its strength and hardening properties. However, variations in its composition, related to raw materials and mineral additions, can influence performance between different batches. This study analyzed samples of the same cement class collected over a six-month period. Specific density, axial compressive strength, and heat of hydration were evaluated using calorimetric curves obtained from a semi-adiabatic calorimeter. The initial and final setting times of the cement pastes were also recorded. The results showed variations in the specific density of the samples. All samples met the standard requirements for compressive strength. At 28 days, there was no significant influence of the batch on compressive strength. However, at 3 and 7 days, differences related to batch changes were observed. Samples with higher temperatures showed shorter intervals between the initial and final setting times.

Keywords: Cement, compressive strength, heat of hydration.

1. INTRODUÇÃO

A NBR 12655 (ABNT, 2022, p.5) define o cimento Portland como "aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual, se adiciona, durante esta operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar materiais pozolânicos a essa mistura, escórias granuladas de alto forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores indicados nas normas específicas."

No processo de hidratação do cimento, ocorre uma reação química dos compostos do cimento com a água transformando em calor a energia liberada por essa reação. Para a tecnologia do concreto esse calor de hidratação dos cimentos é fundamental, já que pode promover condições favoráveis e desfavoráveis para as características do concreto, como ganho de resistência e fissuração. O comportamento em relação ao tempo de pega e endurecimento dos cimentos podem ser descritos através de conhecimentos adquiridos por meio de estudos sobre o calor de hidratação (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A velocidade de desenvolvimento de calor é considerada para determinadas finalidades mais relevantes que o calor total de hidratação, podendo ser afetada pela temperatura em que ocorre a hidratação. O calor de hidratação é uma propriedade decorrente da composição química do cimento. Os cimentos Portland mais usuais liberam no tempo compreendido entre 1 e 3 dias, próximo da metade do calor total gerado pela hidratação, em 7 dias próximo aos 75% e após 6 meses a liberação de 90% do seu calor total (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Viecili et al. (2018) registraram os tempos de início e fim de pega para diferentes amostras de cimentos CP II F-40 e CP V-ARI RS, através de calorimetria semi-adiabática, e verificaram comportamentos diferentes na elevação de temperatura de um cimento para o outro. Para as curvas do cimento CP V ARI RS foi registrada uma semelhança no período dormente e na aceleração, porém com maior variação nos picos de temperaturas máximas registradas, segundo os autores relacionado a presença dos resíduos insolúveis na composição do cimento e suas respectivas quantidades, que variam de 7,0 a 16,5%. No entanto, o estudo conclui que o ensaio de calorimetria semi-adiabática se mostrou eficaz para a análise dos tempos de início e fim das pastas de cimento analisadas, devido ao fato do método ter apresentado em geral, baixa variação nos resultados.

Quando a composição do cimento é constante, a taxa de reatividade e, consequentemente, o desenvolvimento da resistência, podem ser aprimorados através da moagem mais fina do cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2014). A obtenção de cimento sem variação é considerada impossível devido a diversidade de componentes da matéria-prima e suas variações, além de outros fatores intervenientes como variações de temperatura da queima, tempo de exposição no forno de calcinação, moagem, incorporação de adições minerais ao clínquer entre outros, que fazem parte processo de fabricação do cimento Portland (GIRARDI, 2014). Para Helene e Terzian (1992), a variabilidade na composição do cimento Portland pode interferir em até 50% na resistência à compressão do concreto, observando que em uma obra de grande porte pode-se gerar uma economia de aproximadamente 10% se o cimento possuir uma baixa variabilidade em sua resistência à compressão.

Observa-se a necessidade e importância de verificar e conhecer as características do cimento, em detrimento de sua utilização posterior na produção de argamassas e concretos. Assim,

este estudo tem como objetivo analisar o comportamento mecânico e os tempos de pega de amostras de cimento, sempre da mesma classe, coletadas em diferentes lotes no fornecimento ao longo de um período de seis meses.

2. METODOLOGIA

O estudo contemplou a análise e monitoramento de dez amostras de cimento coletadas, ao longo de um período de 6 meses de fornecimento a granel, no recebimento junto a uma empresa parceira da região que produz concreto dosado em central.

2.1 Materiais

O cimento utilizado analisado neste estudo foi o cimento Portland CP II F-40 que, segundo especificações normativas, deve respeitar os limites impostos pela NBR 16697 (ABNT, 2018), em particular às características detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros normativos para o cimento Portland tipo CP II F-40

Parâmetro	Resistência à compressão (MPa)			Tempos de pega (min)	
	3 dias	7 dias	28 dias	Início	Fim
Limite Normativo	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	≥ 60	≤ 600

Fonte: Adaptado da NBR 16697 (ABNT, 2018).

Segundo dados dos laudos fornecidos pelo fabricante, as características, das amostras de cimento utilizadas durante o período de ensaios, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados das amostras do cimento segundo laudos técnicos do fabricante

Amostra		A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10
Massa Específica (g/cm³)		3,08*									
Início de Pega (min)		240	255	273	263	258	250	253	245	250	250
Fim de Pega (min)		300	320	343	330	323	310	315	308	315	310
Resistência à Compressão (MPa)	3 dias	34,4	33,1	33,1	33,0	32,8	32,0	33,3	33,0	33,8	34,0
	7 dias	39,5	38,7	38,7	38,0	37,8	37,0	37,3	37,5	38,4	38,6
	28 dias	46,7	46,5	46,5	45,4	45,8	45,7	45,9	46,0	46,3	46,7

*Observa-se que nos certificados de análises das amostras estudadas, ao longo do período analisado, a informação do fornecedor é que a massa especifica permaneceu inalterada.

Fonte: Adaptado da Ficha Técnica do Fabricante (2023).

Para determinação da resistência à compressão do cimento, seguiu-se as prescrições da NBR 7215 (ABNT, 2019) e, para tal, além do cimento e água, utilizou-se areia normal em quatro diferentes frações. A quantidade para cada material é fixada pela norma, conforme detalhado na Tabela 3.

Material	Cimento	Água	Frações de Areia Normal			
			Grossa	Média grossa	Média fina	Fina

Quantidade (g)	624±0,4	300±0,3	468±0,3	468±0,3	468±0,3	468±0,3

Tabela 3 – Detalhamento dos materiais das argamassas para determinação da resistência à compressão do cimento
Fonte: Adaptado da NBR 7215 (ABNT, 2019).

A água de amassamento utilizada para preparo das misturas executadas neste estudo é uma água oriunda de poço artesiano, e atende aos critérios regidos pela NBR 15900-1 (ABNT, 2009). A exemplo do resultado do ensaio de pH que relutou em 7,20, enquadrando-se com a prescrição da norma ao especificar que a água de amassamento deve apresentar pH ≥ 5, mostrando-se adequada para o uso na produção das misturas.

2.2 Métodos

De forma a avaliar o comportamento das amostras de cimento analisadas, além de validar as informações dos laudos técnicos disponibilizados pelo fabricante, realizaram-se os ensaios de massa específica, resistência à compressão do cimento e ensaio de calorimetria semi-adiabática.
O ensaio de massa específica de todas as amostras de cimento, conforme ensaio apresentado pela NBR 16605 (ABNT, 2017).

Para esse ensaio de resistência à compressão do cimento, seguiu-se o que preconiza a NBR 7215 (ABNT, 2019), que estabelece a mistura da argamassa em misturador mecânico e moldagem de corpos de prova cilíndricos, em fôrmas metálicas com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Após realizada a mistura, em argamassadeira, e moldagem, os corpos de prova permaneceram nas formas, em cura inicial, por 24 horas. Posteriormente, foram submetidos ao processo de cura, permanecendo submersos em tanque de cura com solução saturada de hidróxido de cálcio, até as respectivas idades de rompimento estabelecidas no estudo.

Para cada amostra de cimento analisada, moldaram-se 9 corpos de prova, 3 para cada idades de ensaio, definidas neste estudo em 3, 7 e 28 dias. Os rompimentos dos corpos de prova foram realizados com o uso da uma prensa hidráulica elétrica, marca Solotest.
Os resultados obtidos foram registrados em planilhas e posteriormente analisados, apresentando os resultados individuais, média, desvio padrão e coeficiente de variação. Adicionalmente, os dados foram submetidos a uma análise estatística.

Com o auxílio de um calorímetro semi-adiabático (Figura 1), foram registrados o calor de hidratação e os tempos de início e fim de pega, seguindo o procedimento apresentado por Sandberg e Benini (2008).

Figura 1 – Calorímetro semi-adiabático utilizado na pesquisa



Fonte: Acervo dos Autores (2024).

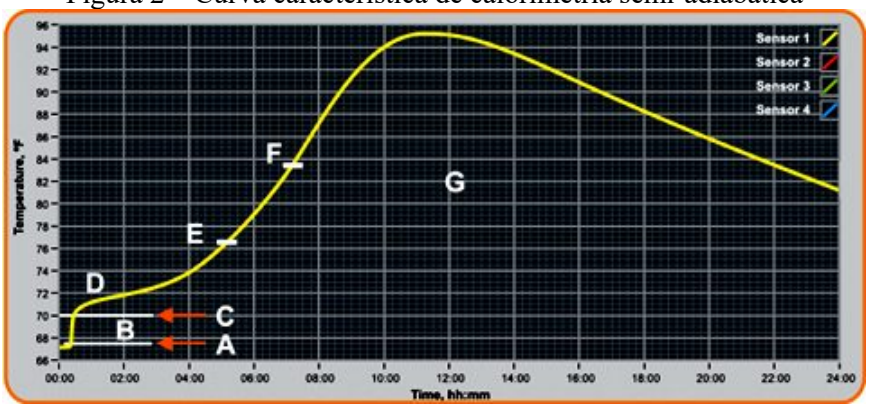
Adotou-se como método de preparo, para as pastas de cimento, o mesmo utilizado por Nunes e Polesello (2022). Para o preparo das pastas de cimento, em função do tamanho dos

compartimentos e posição dos sensores, foram utilizados copos plásticos com capacidade para 500 ml. Em decorrência desse volume, adotou-se como padrão, para produção das pastas, uma quantidade de 400 gramas de cimento e 260 gramas de água, mantendo-se fixa a relação água/cimento.

Para garantir uma boa homogeneização dos materiais, definiu-se um tempo de mistura de 60 segundos. Após esse processo, as pastas de cimento foram imediatamente levadas ao calorímetro semi-adiabático e submetidas ao ensaio de calorimetria semi-adiabática.

Os ensaios foram realizados em ambiente com temperatura controlada em 22±2 °C. Ainda, para cada ensaio, as pastas ficaram acondicionadas dentro do calorímetro por um período, mínimo, de 72 horas. A leitura e coleta de dados foi realizada a cada minuto, por meio de sensores termopares conectados ao software AdiaCal, específico do equipamento utilizado. Assim, foi possível extrair os resultados e gerar as curvas calorimétricas das amostras, analisando os tempos de pega e a máxima temperatura gerada da mistura, segundo metodologia de coleta dos dados do calorímetro realizada considerando os critérios apresentados por Sandberg e Benini (2008), conforme curva típica de um ensaio em um calorímetro semi-adiabático, apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Curva característica de calorimetria semi-adiabática



Fonte: Sandberg e Benini (2008).

A Figura 2 apresenta o calor de hidratação do cimento em relação ao tempo, indicado na curva traçada. Cada uma dessas letras, destacadas na imagem, representa um comportamento diferente no processo: a letra A representa o início do ensaio, quando a amostra de pasta é inserida no porta amostras do calorímetro; a letra B representa o momento de equalização das temperaturas entre equipamento e a pasta; a letra C apresenta a temperatura da amostra de pasta coletada; a letra D compreende o período de dormência; as letras E e F correspondem aos tempos aproximados de início e fim de pega respectivamente; e, por fim, a letra G representa o progresso da resistência da mistura cimentícia provindo da hidratação dos silicatos.

Conforme detalhado pelo método adotado, com o auxílio do software específico do equipamento (AdiaCal), foi possível o registro dos tempos de início e fim de pega, conforme ilustram as letras E e F.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos para as dez amostras de cimento coletadas, ao longo do período de 6 meses de fornecimento a granel, no recebimento junto a uma empresa parceira da região que produz concreto dosado em central, são detalhados na sequência.

3.1 Massa Específica

A fim de verificar o resultado apresentado pelo fornecedor da massa específica do cimento que, segundo registro nas fichas técnicas, permaneceu inalterado ao longo do período de coleta de amostras analisadas neste estudo, realizou-se a determinação da massa específica de cada uma das amostras. Os resultados encontrados encontram-se detalhados na Tabela 4.

Tabela 4 - Massa específica obtida para as amostras de cimento analisadas

Amostra	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10
Massa específica (g/cm³)	3,08	3,12	3,10	3,08	3,07	3,05	3,06	3,07	3,05	3,06

Fonte: Autores (2024).

Observa-se, pelos resultados obtidos, que não há uma uniformidade no resultado da massa específica das amostras, assim como apresentado pelo fornecedor, de 3,08 g/cm³. O resultado dos ensaios registrou mínimas diferenças, registrando um coeficiente de variação inferior a 1,0%, não sendo possível identificar se há alguma variabilidade na produção do cimento ao longo do período analisado. No entanto, ao analisar um período mais longo de tempo, Girardi (2014) aponta a impossibilidade de obter cimento com um padrão uniforme, devido as consideráveis variações tanto na homogeneidade das matérias primas quanto no processo de fabricação do cimento.

3.2 Resistência à Compressão

Os resultados médios de resistência, desvio padrão e desvio relativo médio dos rompimentos dos corpos de prova de cimento estão apresentados no Tabela 5.

Tabela 5 - Resistência à compressão média, desvio padrão e desvio relativo das amostras

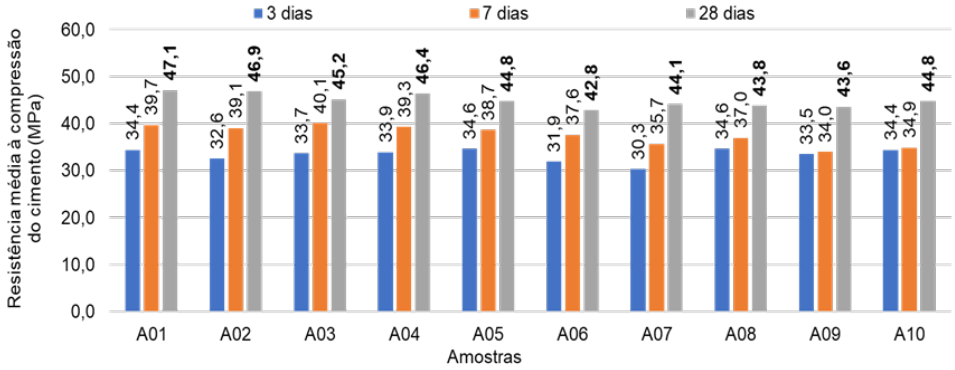
Idade	3 DIAS			7 DIAS			28 DIAS		
Amostra	fcj médio (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Desvio relativo médio	fcj médio (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Desvio relativo médio	fcj médio (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Desvio relativo médio
A01	34,4	0,1	0,3%	39,7	2,5	2,3%	47,1	1,7	3,7%
A02	32,6	0,9	3,0%	39,1	0,2	0,7%	46,9	3,0	3,3%
A03	33,7	0,7	2,1%	40,1	1,0	2,6%	45,2	1,3	3,1%
A04	33,9	0,5	1,7%	39,3	1,7	5,1%	46,4	1,3	3,2%
A05	34,6	1,6	5,2%	38,7	1,0	2,6%	44,8	2,3	5,5%
A06	31,9	0,3	0,9%	37,6	1,3	3,7%	42,8	0,9	2,3%
A07	30,3	0,9	3,4%	35,7	0,6	3,9%	44,1	2,5	2,2%
A08	34,6	1,1	3,6%	37,0	1,0	3,0%	43,8	1,3	3,5%
A09	34,4	0,1	0,3%	39,7	2,5	2,3%	47,1	1,7	3,7%
A10	32,6	0,9	3,0%	39,1	0,2	0,7%	46,9	3,0	3,3%

Fonte: Autores (2024).

Observa-se que todas as 10 amostras de cimento ensaiadas (Tabela 5) obtiveram para as três idades de ensaio, 3, 7 e 28 dias, os resultados de resistência à compressão acima do especificado pela NBR 16697 (ABNT, 2018) para o cimento CP II-F 40, que limita em, no mínimo, 15 MPa, 25 MPa e 40 MPa, respectivamente.

Para melhor visualização, os resultados médios, para as três idades analisadas, estão apresentados no gráfico da Figura 3.

Figura 3 – Resistência média à compressão do cimento aos 3, 7 e 28 dias



Fonte: Autores (2024).

É possível observar as pequenas variações na resistência média à compressão das amostras de cimento. Ainda, é pertinente destacar que as amostras A01, A02, A03 e A04 apresentaram os maiores resultados médios, aos 28 dias, assim como as maiores massas específicas já apresentadas pela Tabela 4.

Para melhor análise, os dados individuais passaram por uma Análise Estatística de Variância (ANOVA), conforme detalham as tabelas da Figura 4.

Figura 4 – ANOVA para resistência à compressão: (a) 3 dias; (b) 7 dias; (c) 28 dias

Variáveis	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Valor Calculado de F	Fator P	Significativo
Amostra	54,09	9	6,01	8,76	0,000031	sim
Erro	13,72	20	0,69			

(a)

Variáveis	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Valor Calculado de F	Fator P	Significativo
Amostra	135,85	9	15,09	5,25	0,000988	sim
Erro	57,51	20	2,88			

(b)

Variáveis	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Valor Calculado de F	Fator P	Significativo
Amostra	58,03	9	6,45	2,01	0,093482	não
Erro	64,29	20	3,21			

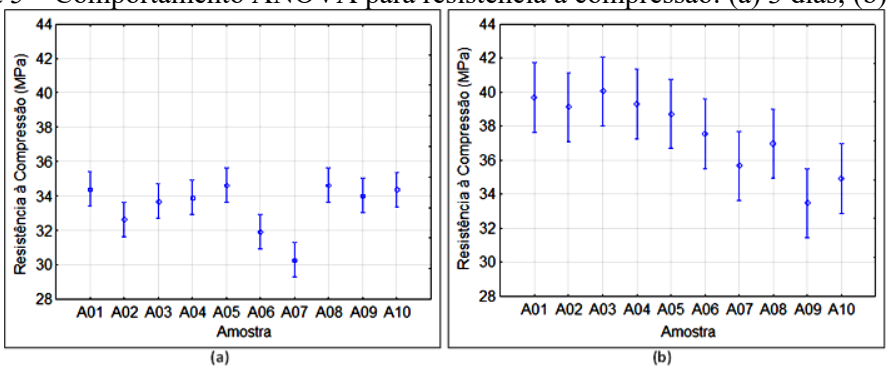
(c)

Fonte: Autores (2024).

Analisando os dados para os 28 dias de idade, verifica-se que o fator P, responsável pela significância que as variáveis independentes têm sobre a variável dependente, apresentou resultado acima de 0,05, comprovando que a amostra não exerce influência significativa sobre o resultado da resistência à compressão do cimento aos 28 dias de idade.

Para uma melhor compreensão da influência das amostras de cimento na resistência à compressão aos 3 e aos 7 dias de idade, a Figura 5 apresenta os gráficos do comportamento registrado na ANOVA para as essas idades analisadas.

Figura 5 – Comportamento ANOVA para resistência à compressão: (a) 3 dias; (b) 7 dias



Fonte: Autores (2024).

Para auxiliar na análise, foi realizado o teste de Tukey, conforme tabelas da Figura 6.

Figura 6 – Teste Tukey para resistência à compressão: (a) 3 dias; (b) 7 dias

	Amostra	Resistência à Compressão (MPa)	1	2	3
7	A07	30,3			****
6	A06	31,9		****	****
2	A02	32,6	****	****	****
3	A03	33,7	****	****	
4	A04	33,9	****	****	
9	A09	33,5	****	****	
10	A10	34,4	****		
1	A01	34,4	****		
8	A08	34,6	****		
5	A05	34,6	****		

(a)

	Amostra	Resistência à Compressão (MPa)	1	2	3
9	A09	33,5			****
10	A10	34,9	****		****
7	A07	35,7	****	****	****
8	A08	37,0	****	****	****
6	A06	37,6	****	****	****
5	A05	38,7	****	****	
2	A02	39,1	****	****	
4	A04	39,3	****	****	
1	A01	39,7	****	****	
3	A03	40,1		****	

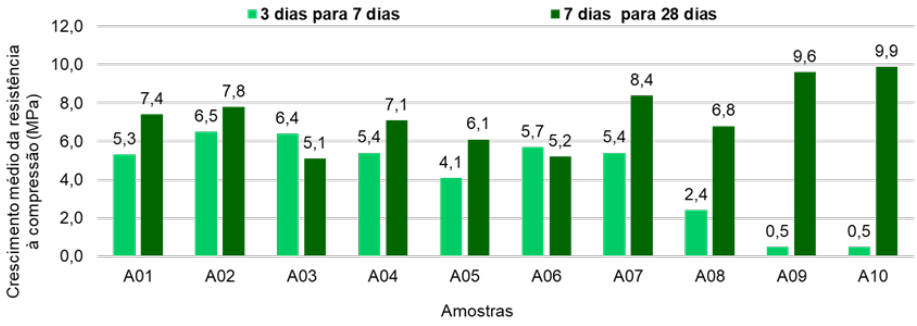
(b)

Fonte: Autores (2024).

Ao analisar a Figura 6, é possível verificar estatisticamente que aos 3 dias de idade, apenas a amostra A02 apresenta resistência à compressão equivalente a todas as demais amostras. Diferentemente, aos 7 dias de idade observaram-se mais interações, onde 3 das amostras apresentaram resistência à compressão equivalente a todas as demais amostras, sendo elas, as amostras A06, A07 e A08.

Foi realizada também uma análise quanto ao comportamento do crescimento da resistência à compressão do cimento ao longo do tempo. O crescimento médio registrado para cada amostra entre as idades de 3 para 7 dias e, posteriormente, de 7 para 28 dias, está apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Crescimento médio da resistência à compressão do cimento



Fonte: Autores (2024).

Pela análise da Figura 7, identifica-se uma considerável variação de comportamento quanto ao crescimento da resistência do cimento, principalmente de 3 para 7 dias, não mantendo-se um padrão de crescimento ao registrar crescimentos variando de 0,5 MPa a 6,5 MPa. Observa-se, em particular, as amostras 09 e 10 que obtiveram um crescimento de 3 dias para 7 dias muito abaixo das demais amostras, apenas 0,5 MPa para ambas as amostras.

O resultado da Análise Estatística de Variância (ANOVA) do crescimento da resistência dos 3 para os 7 dias e dos 7 para os 28 dias está detalhado na Figura 8.

Figura 8 – ANOVA quanto ao crescimento da resistência à compressão das amostras do cimento de: (a) 3 dias para 7 dias; (b) 7 dias para 28 dias

Variáveis	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Valor Calculado de F	Fator P	Significativo
Amostra	140,1795	9	15,5755	9,3432	0,000019	sim
Erro	33,3410	20	1,6671			

(a)

Variáveis	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Valor Calculado de F	Fator P	Significativo
Amostra	73,082	9	8,120	2,3319	0,055112	não
Erro	69,644	20	3,482			

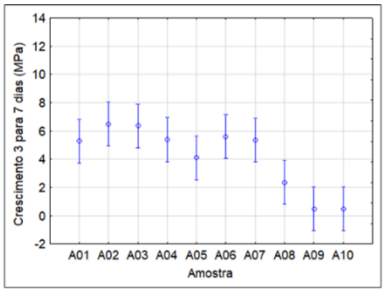
(b)

Fonte: Autores (2024).

Analisando a Figura 8, observa-se que, para o crescimento de 7 para 28 dias não há influência significativa da amostra sobre o crescimento da resistência, visto que o fator P, apresentou resultado acima de 0,05. No entanto, registra-se que esse efeito ficou muito próximo do limite, registrando-se um fator P de 0,055. Por outro lado, ao analisar o crescimento de 3 para 7 dias a análise estatística mostrou que existe influência da amostra no crescimento da resistência à compressão do cimento.

Para uma melhor compreensão da influência da amostra de cimento no crescimento da resistência à compressão de 3 para 7 dias, a Figura 9 apresenta o gráfico do comportamento verificado na ANOVA para o crescimento analisado, e o resultado do teste de Tukey realizado.

Figura 9 – (a) Comportamento ANOVA ao crescimento da resistência à compressão de 3 dias para 7 dias; (b) Teste Tukey para o crescimento da resistência à compressão de 3 para 7 dias



(a)

	Amostra	Crescimento 3 dias para 7 dias (MPa)	1	2	3
9	A09	0,5			****
10	A10	0,5			****
8	A08	2,4		****	****
5	A05	4,1	****	****	****
1	A01	5,3	****	****	
7	A07	5,4	****	****	
4	A04	5,4	****	****	
6	A06	5,7	****	****	
3	A03	6,4	****		
2	A02	6,5	****		

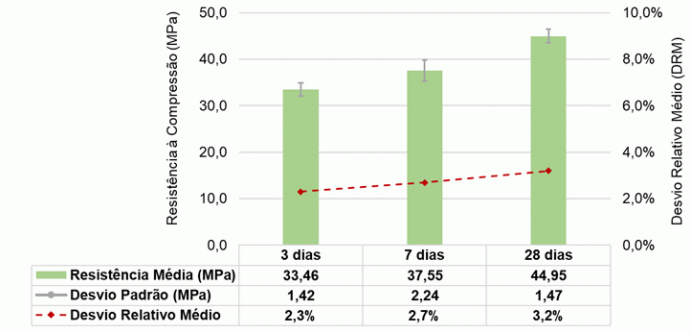
(b)

Fonte: Autores (2024).

Analisando o teste de Tukey, verifica-se que as amostras A01, A02, A03, A04, A05, A06 e A07 são estatisticamente equivalentes entre si, assim como as amostras as amostras A05, A08, A09 e A10. É possível observar ainda, que a amostra A05, é a única amostra estatisticamente equivalente a todas as demais. É interessante observar que, a exceto da A05, formam-se dois grupos distintos de amostras, as amostras A08, A09 e A10 são diferentes das demais amostras estudadas.

Na Figura 10 é possível observar os resultados gerais das médias, desvio padrão e desvio relativo médio obtidos entre as 10 amostras de cimento analisadas, para cada uma das três idades, 3, 7 e 28 dias.

Figura 10 – Resistência média, desvio padrão e desvio relativo médio geral das amostras



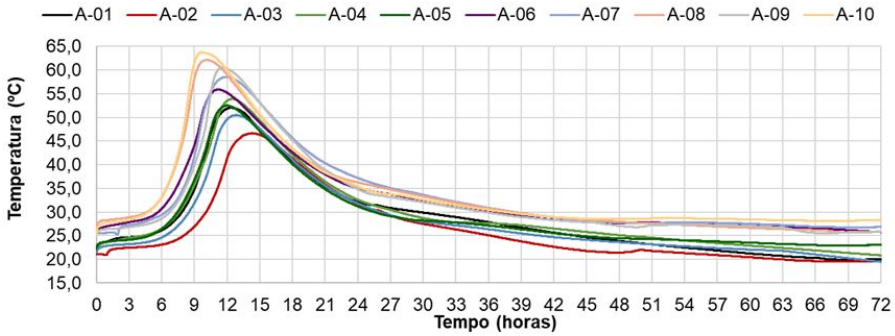
Fonte: Autores (2024).

Verifica-se que aos 28 dias de idade (Figura 10), analisando o comportamento médio das amostras, registrou-se um desvio padrão de apenas 1,47 MPa, com desvio relativo médio de 3,2%, podendo-se dizer, e considerando a análise estatística já apresentada aos 28 dias para as amostras estudadas no período analisado, que há certa uniformidade no fornecimento do cimento.

3.3 Calorimetria Semi-adiabática

As curvas calorimétricas geradas no ensaio de calorimetria semi-adiabática, para as pastas produzidas com cada amostra de cimento, estão apresentadas na Figura 11.

Figura 11 – Curvas do calor de hidratação das pastas (água + cimento)



Fonte: Autores (2024).

Considerando esse registro (Figura 11) feito pelas curvas calorimétricas, pela Tabela 6 são apresentados os dados obtidos das curvas em relação as máximas temperaturas registradas, assim como, com software específico do equipamento, os tempos de início e fim de pega e intervalo entre esses, para cada amostra de pasta de cimento ensaiada.

Tabela 6 - Temperatura máxima, tempos de início e fim de pega e intervalo entre início e fim de pega

Amostra	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10
Temp. Máx. (^{0}C)	52,0	46,7	50,5	53,9	52,5	55,9	58,6	62,2	60,7	63,8
Início de Pega (min)	466	509	497	462	444	419	358	377	491	406
Fim de Pega (min)	581	619	614	594	571	533	441	484	591	485
Intervalo (min)	115	110	117	132	127	114	83	107	100	79

Fonte: Autores (2024).

Analisando a Tabela 6, é possível identificar que a partir da amostra A07, identifica-se uma maior temperatura máxima das amostras em relação as demais. É possível visualizar ainda, para essas mesmas amostras (A07, A08, A09 e A10), uma tendência de início de pega mais rápido, além de um menor intervalo entre o início e o fim de pega, associando esse comportamento a uma hidratação mais rápida, liberando mais calor.

Este fato pode estar atrelado a finura da amostra do cimento, pois cimentos mais finos possuem uma área de superfície maior, permitindo assim uma hidratação mais rápida e, consequentemente, uma liberação de calor mais intensa. Mehta e Monteiro (2014) destacam que, quando a composição do cimento é constante, a taxa de reatividade e, consequentemente, o desenvolvimento da resistência, podem ser aprimorados através da moagem mais fina do cimento, o que pode justificar o comportamento registrado nas amostras A07 até A10.

O comportamento destas pastas de cimento reflete também na resistência à compressão do cimento, já que essa hidratação mais rápida e alta liberação de calor, faz com que as amostras apresentem uma resistência à compressão inicial alta, a exemplo das A08, A09 e A10 ao atingir já aos 3 dias de idade uma resistência muito próxima à atingida com 7 dias (Figura 3), diminuindo com isso, o crescimento da resistência entre as idades (Figura 7).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento destas pastas de cimento reflete também na resistência à compressão do cimento, já que essa hidratação mais rápida e alta liberação de calor, faz com que as amostras apresentem uma resistência à compressão inicial alta, a exemplo das A08, A09 e A10 ao atingir já aos 3 dias

de idade uma resistência muito próxima à atingida com 7 dias (Figura 3), diminuindo com isso, o crescimento da resistência entre as idades (Figura 7).

2.1.1 Área do texto

O tipo de cimento analisado não registrou uniformidade nos resultados da massa específica das amostras ensaiadas, conforme ficha técnica do fornecedor, que registra ser constante a massa específica do cimento durante todo o período em que as amostras foram coletadas para este estudo.

A resistência à compressão de todas as amostras apresentou resultados satisfatórios, partindo do pressuposto de que todas as amostras ensaiadas apresentaram resistência à compressão em atendimento aos limites especificados pela norma para o tipo de cimento utilizado. Estatisticamente, concluiu-se que aos 28 dias de idade, as amostras de cimento analisadas não apresentaram influência sobre o desempenho mecânico da resistência à compressão do cimento, apresentando significância apenas em idades menores, 3 dias e 7 dias. Assim como para o crescimento da resistência à compressão do cimento, que estatisticamente não apresentou significância para o crescimento de 7 para 28 dias, porém, apresentou no crescimento de 3 para 7 dias.

Registrou-se que as amostras com maiores temperaturas máximas, registradas pela curva do calor de hidratação, apresentaram menor diferença no crescimento da resistência, comportamento associado a alta taxa de liberação de calor inicial, fazendo com que se tenha uma reação mais acelerada. Concluiu-se também, que as amostras com maiores temperaturas também apresentaram menores tempos de início de pega e, ainda, são as que registraram os menores intervalos de tempo entre início e fim de pega.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos e prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15900-1: **Água para amassamento do Concreto – Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16605: **Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2017.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16697: **Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M**. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 2ª ed. Ibracon. São Paulo. 2014.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2ª ed. Bookman. São Paulo. 2013.

SANDBERG, P; BENINI, H. **O uso da calorimetria como uma técnica de controle tecnológico de materiais**. Revista Concreto & Construções, v. 51, p.22-26, jun./set. Instituto Brasileiro do Concreto. São Paulo. 2008

GIRARDI, R**. Estudo da variabilidade do cimento Portland que abasteceu o mercado do Rio Grande do Sul no período de 1992 a 2012.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. p. 167. 2014. https://lume.ufrgs.br/handle/10183/10849

NUNES, J. S.; POLESELLO, **E. Estudo experimental da compatibilidade entre aditivos químicos e cimento Portland em misturas cimentícias através de calorimetria. Revista Matéria**, v. 27, n. 1, 2021. https://doi.org/10.1590/S1517-707620220001.1329

VIECILI, M. J. C..; HASTENPFLUG, D.; GIRARDI, R. **Comparativo entre o teste de Vicat e a calorimetria semi-adiabática para determinação do tempo de início e fim de pega em cimentos Portland.** Revista Matéria, v. 23, n. 3, 2018. https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0506

CAPÍTULO 38 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/rsz1f349
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/cj75ff63

INFLUÊNCIA DO ADITIVO REDUTOR DE PERMEABILIDADE E DA CURA NA ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS

Misael Marques[1]*, Felipe Schneider[2]; Bernardo Tutikian[3].
*Autor de contato: nmrmarques@universo.univates.br

[1] Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado/RS, Brasil
[2] Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado/RS, Brasil
[3] Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo/RS, Brasil

RESUMO

Este artigo avaliou a influência da adição de aditivo redutor de permeabilidade (RP) e de diferentes regimes de cura, úmida e natural, na resistência de aderência à tração de argamassas cimentícias aplicadas sobre substrato de blocos cerâmicos de vedação. Foram executados quatro protótipos: sem RP e com cura úmida (SACC), sem RP e com cura natural (SASC), com RP e com cura natural (CASC) e com RP e com cura úmida (CACU). A resistência de aderência foi determinada conforme a NBR 13528-2, com 12 pontos de ensaio por protótipo. As resistências médias foram de 0,43 MPa para o SACC, 0,48 MPa para o SASC, 0,43 MPa para o CASC e 0,48 MPa para o CACU. O protótipo CASC apresentou o menor desvio padrão, 0,07 MPa, contra 0,21 MPa do SASC, indicando redução aproximada de 66% na dispersão dos resultados com o uso do aditivo RP sob cura natural. Os protótipos com aditivo apresentaram todos os corpos de prova com resistência igual ou superior a 0,20 MPa, enquanto os protótipos sem aditivo registraram três valores abaixo desse limite. A maior resistência individual foi obtida no CACU, com 0,91 MPa, associada à ruptura no substrato cerâmico. Conclui-se que o aditivo redutor de permeabilidade contribuiu principalmente para a maior uniformidade dos resultados e para a eliminação de valores inferiores ao limite de referência, enquanto sua associação à cura úmida proporcionou o maior valor individual de aderência observado no estudo.
Palavras-chave: aderência; argamassa; aditivo redutor de permeabilidade; revestimento.

ABSTRACT

This study evaluated the influence of a permeability-reducing admixture (PRA) and different curing regimes, namely moist curing and natural curing, on the tensile bond strength of cementitious rendering mortars applied to ceramic masonry brick substrates used for non-load-bearing walls. Four specimens were produced: without PRA and with moist curing (SACC), without PRA and with natural curing (SASC), with PRA and with natural curing (CASC), and with PRA and with moist curing (CACU). Tensile bond strength was determined in accordance with NBR 13528-2, using 12 test points per specimen. The mean tensile bond strengths were 0.43 MPa for SACC, 0.48 MPa for SASC, 0.43 MPa for CASC, and 0.48 MPa for CACU. CASC showed the lowest standard deviation, 0.07 MPa, compared with 0.21 MPa for SASC, indicating an approximate 66% reduction in result dispersion when the PRA was used under natural curing. All test points in the specimens containing the admixture reached tensile bond strength values equal to or greater than 0.20 MPa, whereas the specimens without the admixture presented three values below this limit. The highest individual tensile bond strength was obtained in CACU, with 0.91 MPa, associated with failure in the ceramic substrate. It is concluded that the permeability-reducing admixture contributed mainly to greater result uniformity and to the absence of values below the reference limit, while its combination with moist curing provided the highest individual bond strength observed in the study.
Keywords: bond strength; mortar; waterproofing admixture; coating.

1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos argamassados desempenham papel fundamental na proteção e no acabamento de sistemas de vedação vertical internos e externos (SVVIE), influenciando diretamente a estanqueidade, o isolamento térmico e acústico e a durabilidade destes sistemas. Sua eficácia está intrinsecamente ligada à qualidade da aderência entre o sistema de revestimento e o substrato, no caso do uso de revestimentos aderidos, propriedade frequentemente comprometida pela ação da umidade, que pode desencadear manifestações patológicas como descolamentos, fissuras e eflorescências (Carasek, 2017; John, 2017). De acordo com Aroucha Junior et al. (2023), as manifestações patológicas em revestimentos argamassados podem ser causadas por diversos fatores, como falhas no projeto, na execução ou no uso inadequado de materiais.

As argamassas de revestimento são amplamente utilizadas na regularização de superfícies, preparando-as para receber pinturas e revestimentos cerâmicos, além de contribuírem para a proteção e desempenho funcional das edificações. A aderência da argamassa ao substrato é um fator determinante para a qualidade e longevidade dos revestimentos (ABNT, 2023a).

A resistência de aderência à tração é um dos principais parâmetros para avaliar o desempenho de revestimentos. Essa propriedade é influenciada por diversos fatores, como a composição da argamassa, a preparação do substrato, as condições de aplicação e, de modo crucial, pelo processo de cura (Carasek, 2010).

Paralelamente, a incorporação de aditivos redutores de permeabilidade (RP) tem sido uma prática adotada para melhorar o desempenho dos revestimentos frente à ação da umidade. Jantsch et al. (2020) demonstram que aditivos cristalizantes reduzem significativamente a absorção de água e aumentam a resistência à compressão da argamassa. Esses aditivos atuam modificando a estrutura porosa da matriz cimentícia, reduzindo a absorção de água por capilaridade e, consequentemente, aumentando a durabilidade do sistema (Carasek, 2017; IBI, 2021). Ainda, no que tange o período após a aplicação do revestimento argamassado, a cura úmida é amplamente reconhecida por favorecer a hidratação do cimento, reduzir a fissuração por retração plástica e aumentar a resistência final da argamassa (Carasek, 2017).

Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo investigar a influência da adição de aditivo redutor de permeabilidade na resistência de aderência à tração de revestimentos argamassados cimentícios, aplicados sobre substrato composto de blocos cerâmicos de vedação, considerando os efeitos da cura úmida e da cura natural.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Tecnologia da Construção (LATEC) da Universidade do Vale do Taquari – Univates, onde deu-se a preparação do material, a montagem os protótipos e a execução dos ensaios experimentais.

2.1 Materiais Utilizados

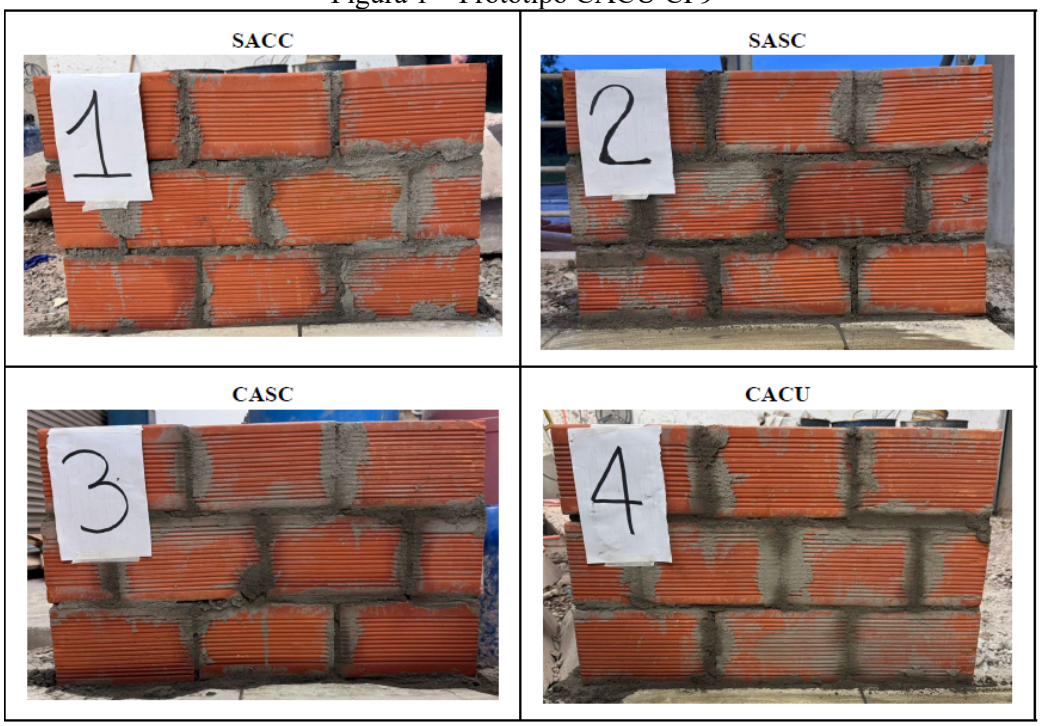
Os materiais empregados na produção das argamassas foram: cimento Portland CP IV-32 RS, conforme NBR 16697 (ABNT, 2018); cal hidratada CH-II, conforme NBR 7175 (ABNT, 2003); areia média natural de rio, conforme NBR 7211 (ABNT, 2022); água potável e aditivo redutor de permeabilidade, classificado como RP conforme NBR 11768-1 (ABNT, 2019a). Para confecção do substrato, utilizaram-se blocos cerâmicos de vedação classe VED 15, com dimensões de 11,5 cm x 14 cm x 24 cm e 11,5 cm x 14 cm x 12 cm, conforme NBR 15270-1 (ABNT, 2023b). A

argamassa de revestimento foi produzida nos traços 1:3 (cimento:areia) para o chapisco e 1:4 para a camada de emboço único.

2.2 Execução dos Protótipos e Ensaio

Foram construídos quatro protótipos com dimensões de 45 x 72 cm, assentados com argamassa de traço 1:4 (cimento:areia) e juntas nominais de 10 mm, com variação entre 7 e 13 mm, dentro dos parâmetros da NBR 13749 (ABNT, 2013), conforme demonstra a Figura 1.

Figura 1 – Protótipo CACU CP9



Fonte: Os autores.

As combinações experimentais são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Síntese dos protótipos e variáveis estudadas

Sigla	Descrição	Aditivo RP	Cura
SACC	Sem Aditivo, Com Cura úmida	Não	Úmida
SASC	Sem Aditivo, Sem Cura úmida	Não	Natural
CASC	Com Aditivo, Sem Cura úmida	Sim	Natural
CACU	Com Aditivo, Com Cura úmida	Sim	Úmida

Fonte: os autores.

Após sete dias do assentamento, o substrato foi previamente limpo, removendo-se poeira e outros materiais soltos que possam prejudicar a aderência do revestimento argamassado, a exemplo das recomendações de trabalhos experimentais como o de Moreira e Macêdo (2023). Após, os blocos foram umedecidos com água por aspersão para evitar a absorção excessiva da água da argamassa, conforme estabelece a NBR 7200 (ABNT, 1998) e convergindo com recomendações da literatura, como a de Zanelato (2019) e observações experimentais, como a de Gottlieb e Polesello (2022). Em seguida, aplicou-se chapisco (traço 1:3) manualmente com auxílio de colher de pedreiro. Decorridos mais sete dias, executou-se o emboço único (traço 1:4), seguindo a NBR 7200 (ABNT,

1998). A cura úmida consistiu em pulverizações manuais de água, duas vezes ao dia, nos três primeiros dias; a cura natural deu-se em ambiente coberto, sem controle de umidade. Aos 28 dias, conforme o período de cura estabelecido pela NBR 13528-2 (ABNT, 2019b), realizou-se o ensaio de resistência de aderência à tração com 12 pontos de ruptura por protótipo, utilizando pastilhas metálicas de 50 mm de diâmetro. A resistência potencial (Ri) foi calculada pela Equação 1.

$$Ri = \frac{Pi}{Ai} \quad (1)$$

Onde:
Ri = resistência potencial de aderência à tração
Pi = carga de ruptura em newton
Ai = área do corpo de prova em milímetros quadrados;

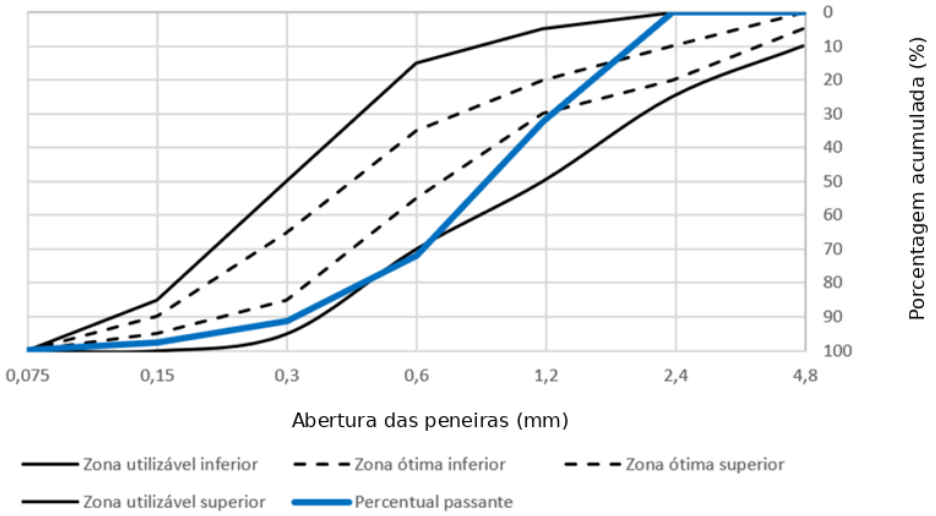
Adicionalmente, determinou-se o teor de umidade dos testemunhos extraídos, conforme procedimento da NBR 15270-2 (ABNT, 2023c).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos Materiais

O ensaio de absorção de água dos blocos cerâmicos, realizado conforme a NBR 15270-2 (ABNT, 2023c), resultou em índices entre 18,96% e 19,73%, valores adequados considerando o intervalo normativo de 8% a 25% estabelecido pela NBR 15270-1 (ABNT, 2023b) para blocos classe VED 15, caracterizando absorção moderada e adequada para sistemas de revestimento argamassado, o que é ideal para Carasek (2010), que afirma que blocos com absorção intermediária apresentam sucção suficiente para favorecer a ancoragem da argamassa, contribuindo para uma zona de transição pasta-substrato bem formada.
A análise granulométrica da areia, realizada conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022) (Figura 2), demonstrou curva contínua, com maiores retenções nas peneiras de 0,30 mm (39,63%) e 0,15 mm (27,43%), indicando predominância de partículas médias e finas, comportamento típico e adequado para argamassas de revestimento. O traçado permaneceu majoritariamente dentro da zona utilizável, aproximando-se da zona ótima nas peneiras intermediárias, o que favoreceu boa trabalhabilidade, coesão e adequado empacotamento das partículas.

Figura 2 – Curva granulométrica



Fonte: os autores

3.2 Resistência de Aderência à Tração

Os resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração dos quatro protótipos são apresentados de forma consolidada na Tabela 1. O protótipo SACC, executado sem aditivo redutor de permeabilidade e submetido à cura úmida, apresentou resistência média de 0,43 MPa e desvio padrão de 0,19 MPa. Dos doze pontos ensaiados, apenas o CP2-SACC registrou valor inferior ao limite mínimo de 0,20 MPa estabelecido pela NBR 13528-2 (ABNT, 2019b), com 0,10 MPa.

Tabela 1 – Resultados de resistência de aderência à tração (Ri) por protótipo (MPa)

CP	SACC	SASC	CASC	CACU
CP1	0,43	0,18	0,32	0,49
CP2	0,10	0,59	0,43	0,34
CP3	0,46	0,76	0,36	0,56
CP4	0,32	0,49	0,41	0,58
CP5	0,40	0,47	0,40	0,24
CP6	0,46	0,57	0,43	0,54
CP7	0,21	0,38	0,46	0,56
CP8	0,89	0,54	0,49	0,35
CP9	0,45	0,54	0,55	0,91
CP10	0,55	0,79	0,34	0,26
CP11	0,42	0,11	0,48	0,29
CP12	0,45	0,31	0,50	0,58

Fonte: os autores.

Durante a perfuração com serra copo houve desprendimento parcial da camada superficial, o que pode ter reduzido artificialmente a resistência medida (Figura 3a). Em contrapartida, o CP8-SACC atingiu 0,89 MPa, com ruptura no interior do substrato cerâmico (Figura 3b), evidenciando que a ligação argamassa-bloco superou a própria resistência à tração do bloco cerâmico, caracterizando condição de aderência plena. Os teores de umidade do SACC variaram entre 5,26% e 5,72%, os mais elevados entre os protótipos com cura úmida, confirmando a eficácia da cura úmida em promover hidratação inicial e aderência consistente.

Figura 3 – Protótipos SACC CP2 (a) e CP8 (b)

(a) (b)



Fonte: Os autores.

O protótipo SASC, executado sem aditivo redutor de permeabilidade e submetido à cura natural, apresentou resistência média de 0,48 MPa e o maior desvio padrão entre os quatro protótipos (0,21 MPa), indicando elevada dispersão dos resultados. Dois pontos ficaram abaixo do limite normativo de 0,20 MPa: CP1-SASC (0,18 MPa) e CP11-SASC (0,11 MPa). Ambos apresentaram ruptura coesiva no interior do emboço (Figuras 4a e 4b), caracterizando falha da própria argamassa, sem envolvimento direto da interface com o substrato.

Figura 4 – Protótipos SASC CP1 (a) e CP11 (b)

(a) (b)



Fonte: Os autores.

O CP10-SASC, entretanto, apresentou ruptura no substrato cerâmico, sugerindo bom desempenho local da zona de transição pasta-substrato. Os teores de umidade do SASC foram os mais baixos

do estudo, situando-se entre 2,84% e 4,31%, confirmando que a cura natural acelera a perda hídrica inicial, compromete a hidratação e aumenta a variabilidade dos resultados de aderência.

O protótipo CASC, executado com aditivo redutor de permeabilidade e submetido à cura natural, apresentou resistência média de 0,43 MPa e o menor desvio padrão de todo o estudo (0,07 MPa), evidenciando comportamento significativamente mais uniforme em comparação aos protótipos sem aditivo. Todos os doze CP apresentaram valores acima do limite normativo, variando entre 0,32 MPa e 0,55 MPa.

O CP1-CASC apresentou ruptura coesiva lisa no início da camada de emboço (Figura 5a), com espessura ativa de aproximadamente 1 mm, indicando que a falha ocorreu na matriz da argamassa e não na interface. O CP9-CASC, com 0,55 MPa, rompeu de forma uniforme e totalmente no substrato cerâmico (Figura 5b), demonstrando que a ligação argamassa-bloco superou a resistência do bloco. Os teores de umidade variaram entre 3,37% e 3,79%, valores característicos de cura natural, porém com retenção hídrica mais gradual proporcionada pelo aditivo RP. O desvio padrão de 0,07 MPa confirma que o aditivo redutor de permeabilidade reduz oscilações locais de aderência e garante maior homogeneidade nos resultados, mesmo na ausência de cura úmida.

Figura 5 – Protótipos CASC CP1 (a) e CP9 (b)

(a) (b)



Fonte: Os autores.

O protótipo CACU, executado com aditivo redutor de permeabilidade e submetido à cura úmida, registrou a maior resistência individual de todo o estudo (0,91 MPa para CP9-CACU) e resistência média de 0,48 MPa, com desvio padrão de 0,19 MPa. Todos os doze pontos atenderam ao limite normativo, variando entre 0,24 MPa e 0,91 MPa. O CP9, com 0,91 MPa, rompeu totalmente no substrato cerâmico (Figura 6), confirmando a elevada eficiência da combinação entre aditivo RP e cura úmida, resultando em zona de transição pasta-substrato mais consolidada e aderência superior, comportamento relatado por Jiang et al. (2017). Os teores de umidade foram os mais elevados do estudo (4,10% a 5,49%), associados à cura úmida e ao efeito do aditivo na retenção hídrica.

Figura 6 – Protótipo CACU CP9



Fonte: os autores

O CP5-CACU (0,24 MPa) apresentou ruptura no chapisco (Figura 7a) atribuída a falha localizada de aplicação, espessura ou compactação, sem qualquer indicação de formação de barreira sistêmica causada pelo aditivo. O CP10-CACU (0,26 MPa) apresentou ruptura coesiva no emboço, acompanhada de fissura vertical alinhada à marca deixada pelas taliscas de nivelamento (Figura 7b), caracterizando plano de fraqueza local por descontinuidade de execução.

Figura 7 – Protótipos CACU CP5 (a) e CP10 (b)

(a) (b)

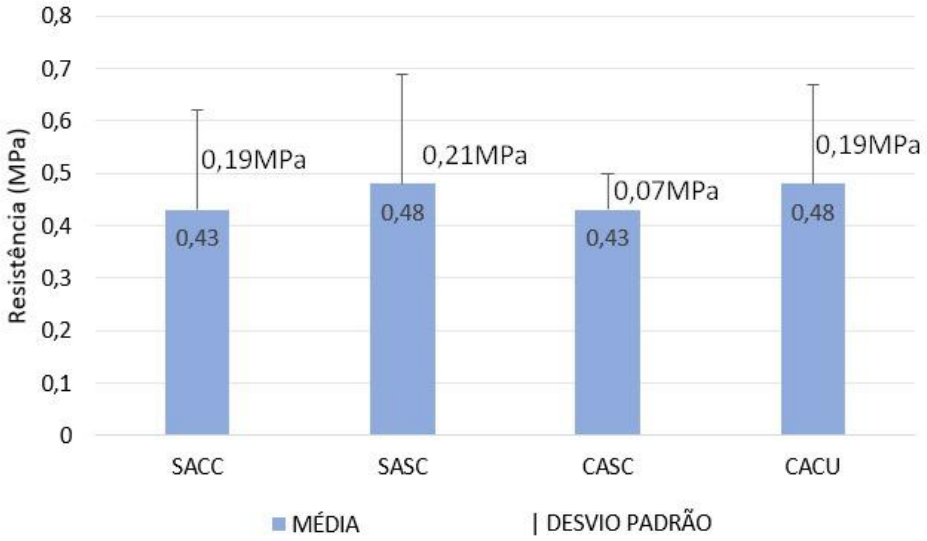


Fonte: os autores

3.3 Síntese Comparativa

A análise conjunta dos quatro protótipos, sintetizada na Figura 8, demonstra que o desempenho de aderência está diretamente associado ao controle da perda de água nas primeiras idades, convergindo com observações de autores como Falchi et al. (2015).

Figura 8 – Média da resistência com desvio padrão



Fonte: Os autores.

Nos sistemas sem aditivo redutor de permeabilidade, o regime de cura se apresentou como fator predominante no tocante à aderência do revestimento ao substrato. Nos protótipos em que fora realizada cura de forma natural, a argamassa perdeu água rapidamente para o ambiente e para o substrato, reduzindo a hidratação inicial e aumentando a variabilidade dos resultados, com dois pontos abaixo do limite normativo (SASC). A cura úmida, mesmo sem aditivo, mostrou-se capaz de reduzir essa perda hídrica e promover aderência mais consistente (SACC).

Com a introdução do aditivo redutor de permeabilidade, observou-se mudança no comportamento dos revestimentos. É possível que o aditivo tenha atuado no refinamento da capilaridade e na retenção de água do emboço, garantindo hidratação mais efetiva nas primeiras horas, mesmo sob cura natural. Isso resultou em aumento dos valores mínimos de aderência, corroborando os achados de Moreira et al. (2023), além de redução significativa da dispersão entre os pontos medidos, evidenciado pelo desvio padrão de 0,07 MPa do CASC, o menor do estudo.

A combinação do aditivo RP com a cura úmida (CACU) produziu o melhor desempenho de todo o estudo, alcançando o maior valor individual (0,91 MPa) e rupturas no próprio substrato cerâmico. Essa sinergia evidencia que a presença simultânea do aditivo e da umidade controlada promoveu zona de transição mais consolidada, com maior compacidade e intertravamento mecânico.

De forma geral, os resultados indicam que o aditivo redutor de permeabilidade atua de maneira positiva na redução da variabilidade da aderência, sobretudo na ausência de cura úmida, enquanto a cura úmida contribui principalmente para o aumento dos valores médios de resistência. Quando associado à cura úmida, o aditivo promove melhoria da capilaridade e refinamento da estrutura porosa do revestimento, resultando em maiores níveis de resistência de aderência.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho possibilitou avaliar, de forma prática e experimental, o comportamento de revestimentos argamassados produzidos in loco sobre blocos cerâmicos de vedação, considerando a influência da adição de aditivo redutor de permeabilidade e de dois regimes de cura: úmida e natural. A execução de quatro protótipos com traços e condições de aplicação controladas permitiu a comparação direta do desempenho de aderência à tração entre as diferentes combinações.

Todos os protótipos atenderam ao critério de aceitação da NBR 13749 (ABNT, 2013), que exige no mínimo oito corpos de prova com resistência igual ou superior a 0,20 MPa entre os doze ensaiados. O protótipo SACC, sem aditivo e com cura úmida, apresentou apenas um ponto abaixo do limite (CP2-SACC com 0,10 MPa), enquanto o SASC, sem aditivo e com cura natural, registrou dois pontos abaixo (CP1-SASC com 0,18 MPa e CP11-SASC com 0,11 MPa), além da maior dispersão dos resultados, com desvio padrão de 0,21 MPa. Já os protótipos com aditivo, CASC em cura natural e CACU em cura úmida, não apresentaram nenhum valor inferior a 0,20 MPa, evidenciando a contribuição do redutor de permeabilidade para a manutenção da aderência mesmo em condições desfavoráveis de cura.

A análise dos teores de umidade confirmou os mecanismos observados. O SASC apresentou os menores teores, entre 2,84% e 4,31%, associados à perda hídrica acelerada e à maior variabilidade dos resultados. O SACC manteve umidade entre 5,26% e 5,72%, demonstrando a eficácia da cura úmida na hidratação do cimento. O CASC, mesmo sob cura natural, registrou teores entre 3,37% e 3,79%, indicando que o aditivo atuou na retenção de água e no refinamento da estrutura capilar, resultando no menor desvio padrão de todo o estudo, 0,07 MPa. O CACU, com cura úmida e aditivo, apresentou os maiores teores de umidade, entre 4,10% e 5,49%, e o melhor desempenho global, com resistência média de 0,48 MPa e pico de 0,91 MPa no CP9, cuja ruptura ocorreu no substrato cerâmico.

Os modos de ruptura observados reforçam essas conclusões. No SACC e no CASC, as rupturas no substrato cerâmico (CP8-SACC com 0,89 MPa e CP9-CASC com 0,55 MPa) indicaram aderência plena, com ligação argamassa-bloco superior à resistência do próprio bloco. No SASC, as rupturas coesivas no interior do emboço evidenciaram fragilidade da matriz da argamassa, associada à secagem precoce. No CACU, as rupturas localizadas no chapisco e na interface com taliscas foram atribuídas a falhas pontuais de execução, e não ao aditivo, uma vez que o CP9-CACU atingiu o maior valor do estudo justamente com ruptura no substrato.

Diante disso, conclui-se que a cura úmida foi determinante para a obtenção de maiores valores médios de aderência em argamassas convencionais, enquanto o aditivo redutor de permeabilidade, isoladamente, mostrou-se eficaz no controle da perda de água e na redução da variabilidade dos resultados, mesmo sob cura natural, elevando os valores mínimos e garantindo homogeneidade ao sistema. A combinação do aditivo com a cura úmida proporcionou o melhor desempenho técnico, associando elevada resistência média, baixa dispersão e rupturas no substrato, indicativo de zona de transição pasta-substrato densa e bem consolidada. A pior condição foi identificada no sistema sem aditivo e com cura natural, que apresentou os menores valores individuais, a maior dispersão e os mais baixos teores de umidade, confirmando a vulnerabilidade dos revestimentos convencionais à falta de controle hídrico nas primeiras idades.

Como contribuição prática, os resultados demonstram que o uso do aditivo redutor de permeabilidade pode ser uma alternativa eficiente em situações onde a cura úmida não é viável ou não é rigorosamente executada, garantindo níveis mínimos de aderência e maior uniformidade ao revestimento. Quando associado à cura úmida, o aditivo potencializa o desempenho, conduzindo o sistema à sua condição ótima. Para trabalhos futuros, recomenda-se a repetição do experimento com traços de emboço mais pobres em cimento, como 1:6, de modo a ampliar a sensibilidade da análise e tornar mais evidente a influência do aditivo na retenção hídrica e na aderência ao substrato.

REFERÊNCIAS

AROUCHA JUNIOR, JOSÉ ÁTILA MATOS; LOPES, VALDILEA FERREIRA; SOARES, WANDERSON MORAES; PIRES, MARIANA SILVA; LEITE NETO, SOLON TUPINAMBÁ. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados: causas e prevenção**. Revista Contemporânea, v. 3, n. 11, p. 21503-21511, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13281-1**: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2023a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 11768-1**: Aditivos para concreto – Parte 1: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13528-2**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração – Parte 2: Aderência ao substrato**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13749: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos – Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15270-2: **Componentes cerâmicos – Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 16697: **Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7175: **Cal hidratada para argamassas – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7200: **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7211**: Agregados para concreto – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 887-896.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de construção civil e princípios**

de ciência e engenharia de materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2017. v. 2, p. 922-969.

FALCHI, L.; ZENDRI, E.; MÜLLER, U.; FONTANA, P. **The influence of water-repellent admixtures on the behaviour and the effectiveness of Portland limestone cement mortars**. Cement and Concrete Composites, v. 59, p. 12–23, 2015.

GOTTLIEB, C. R.; POLESELLO, E. **Estudo de diferentes tipos de argamassas aplicadas em substrato cerâmico com e sem tratamento superficial**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS – SBTA, 15., 2022, Porto Alegre. Anais.... Porto Alegre: ANTAC, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO - IBI. **Manual de utilização de aditivos químicos para concreto**. 2. ed. São Paulo: IBI, 2021.

JANTSCH, A. C. A.; KAZMIERCZAK, C. S.; REUS, G. L.; MASUERO, J. R. **Avaliação do comportamento de revestimentos em argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 29–46, jan./mar. 2020. DOI: 10.1590/s1678-86212020000100383.

JIANG, C.; HUANG, S.; GAO, P.; CHEN, D. **Experimental study on the bond and durability properties of mortar incorporating polyacrylic ester and silica fume**. Advances in Cement Research, v. 30, n. 2, p. 1-10, 2017.

JOHN, V. M. Materiais de construção e o meio ambiente. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 3. ed. rev. e atual. São Paulo: IBRACON, 2017. p.114-154.

MOREIRA, A. R. do C.; MACÊDO, A. N. **Aderência de argamassa em substrato cerâmico, com camada de chapisco elaborado com seixo fino da região Oeste do Pará**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 15, n. 1, p. 1-10, 2023. ISSN 2176-7270.

MOREIRA, A.; MARIANO, A.; PACHECO, F.; ZAMIS, H.; CHRIST, R.; TUTIKIAN, B. **Análise da influência do catalisador cristalino e aditivo impermeabilizante na resistência de aderência à tração de argamassa de revestimento**. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONPAT, 17, 2023. Anais eletrônicos… Santa cruz de la Sierra: [s.l], 2023. p. 2361. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.alconpat.org/conpat23/files/DOI/PC/CONPAT2023-V2-2361.pdf. Acesso em: 22 nov. 2025.

ZANELATO, E. B. **Influência da superfície dos blocos cerâmicos na aderência de argamassas e proposta de uma nova morfologia de ancoragem**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2019.

CAPÍTULO 39 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/w3yyye64
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/xrzqzm87

POTENCIAL DE FIBRAS NATURAIS COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE FIBRAS DE JUTA E SISAL

Priscila Grazielle Pinto de Azevedo[1], Vinício Cecconello[2]*;

*Autor de contato: vcecconello@ucs.br

[1] Curso de Engenharia Civil, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, Brasil
[2] Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, Brasil

RESUMO

O Brasil se destaca na produção de diversas fibras naturais, ocupando posições de liderança global na exportação e no desenvolvimento de tecnologias no setor. O uso de fibras naturais no concreto aumenta a resiliência e a tenacidade da matriz cimentícia, controlando a retração plástica e a formação de microfissuras. As fibras redistribuem as tensões internas, compensando a baixa resistência à tração característica do concreto convencional. Desta forma, essa pesquisa buscou avaliar compósitos cimentícios reforçados com diferentes fibras naturais. Para isso, foram avaliados, no estado fresco, o índice de consistência e a densidade das misturas, e, no estado endurecido, as propriedades de resistência à compressão, resistência à flexão e absorção de água por capilaridade ao longo do tempo. Os resultados demonstraram que a adição de fibras reduz a consistência das misturas e a massa específica no estado fresco e no estado endurecido. A adição de fibras não compromete a resistência à tração, porém afeta diretamente a resistência à compressão, e a fibra de juta tende a produzir misturas com maior capacidade de absorção por capilaridade.
Palavras-chave: fibras naturais; concreto reforçado com fibra; fibra de juta; fibra de sisal.

ABSTRACT

Brazil stands out in the production of various natural fibers, occupying leading global positions in exports and in the development of technologies in the sector. The use of natural fibers in concrete increases the resilience and toughness of the cementitious matrix, controlling plastic shrinkage and the formation of microcracks. The fibers are redistributed as they are internally tensioned, compensating for the low tensile strength characteristic of conventional concrete. Thus, this research sought to evaluate cementitious composites reinforced with different natural fibers. For this, the consistency index and density of the mixtures were evaluated in the fresh state, and, in the bearable state, the properties of tensile strength, flexural strength, and water absorption by capillarity over time were evaluated. The results demonstrated that the addition of fibers reduces the consistency of the mixtures and the specific mass in the fresh and durable states. The addition of fiber does not compromise tensile strength, but it directly affects specific strength, and jute fiber tends to produce mixtures with greater capillary absorption capacity.
Keywords: natural fibers; fiber-reinforced concrete; Jute fiber; sisal fiber.

1. INTRODUÇÃO

O concreto reforçado com microfibras apresenta ganhos no desempenho mecânico ao tornar a matriz cimentícia mais resiliente e menos frágil. As fibras atuam no controle da retração plástica, interceptando microfissuras logo em sua formação e aumentando a tenacidade do conjunto. Isso permite ao concreto absorver energia e manter a capacidade de carga mesmo após a fissuração

inicial. Além de elevar a resistência ao impacto e à fadiga, essa adição melhora a durabilidade da estrutura ao reduzir a permeabilidade e prevenir o lascamento explosivo em situações de incêndio, consolidando-se como uma solução eficaz para otimizar a integridade interna do material.

Prakash e Sangeeth (2022) e Priya e Sudalaimani (2023) observam que, embora o concreto convencional apresente excelente desempenho à compressão, sua resistência à tração é insatisfatória. Para compensar essa limitação, torna-se essencial incorporar reforços durante a formulação do compósito, especialmente por meio da inclusão de microfibras. A presença dessas fibras no concreto reforçado (CRF) contribui significativamente para a superação das fragilidades mecânicas do material.

Um aspecto crucial para aumentar a rigidez e a resistência do compósito é a adequada distribuição das tensões. Quando a matriz atinge sua tensão de ruptura, surgem fissuras. Nesse momento, a carga é transferida para as fibras que cruzam essas fissuras, funcionando como pontes que contêm a abertura e redistribuem as tensões (Tanesi e Figueiredo, 1999). O concreto, por natureza, apresenta baixa resistência à tração; sob esforços de tração, fissuras se formam, gerando concentrações de tensão em suas extremidades. A ruptura do material ocorre de forma abrupta quando a tensão de tração ultrapassa seu limite crítico (Figueiredo, 2011).

Entretanto, as utilizações das fibras naturais apresentam limitações, sendo uma delas a durabilidade a longo prazo. Isso ocorre, pois há diversos tipos de degradação que afetam diretamente as fibras quando inseridas na matriz cimentícia; os processos que causam maior impacto são o ataque alcalino originado da matriz cimentícia e a mineração das fibras. Ambos são originados da alcalinidade do cimento e da composição naturalmente presente nas fibras (Benjamin Mohr *et al*., 2006).

Apesar destes obstáculos, as fibras vegetais são consideradas uma alternativa promissora para reforço em compósitos devido à sua sustentabilidade, ao baixo custo e às propriedades mecânicas (Castoldi, 2018). Ainda, segundo Zukowski (2017), as fibras naturais apresentam vantagens ambientais e podem substituir fibras sintéticas em diversas aplicações, desde que submetidas a tratamentos adequados para melhorar sua durabilidade e desempenho. Além disso, sua biodegradabilidade e leveza contribuem para a redução do impacto ambiental e do peso das estruturas, tornando-as cada vez mais valorizadas na engenharia de materiais.

Desta forma, o estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o comportamento físico e mecânico de compósitos cimentícios reforçados com fibras naturais de juta e de sisal, de modo a explorar os benefícios que as fibras proporcionam às misturas. Para isso, foram moldados corpos de prova com 0,8% de fibra natural em volume e analisado o desempenho de compressão, tração na flexão e absorção de água por capilaridade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Aglomerantes

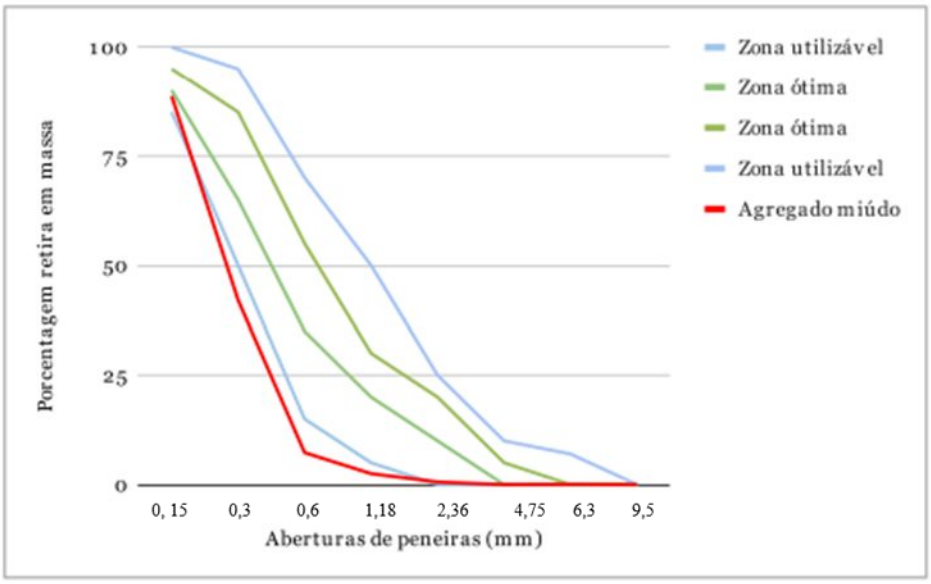
O cimento utilizado neste estudo foi o CP II-F-40, que possui adição de fíler calcário em sua composição. Já a adição mineral utilizada foi a cinzas da casca do arroz (CCA) com baixo teor de carbono, que contribui para a melhoria das propriedades mecânicas e da durabilidade dos compósitos cimentícios. Sua atividade pozolânica consome o hidróxido de cálcio, o principal álcali da matriz, e o converte em silicato de cálcio hidratado. Esse processo de consumo alcalino reduz o pH da matriz, o que é vital para favorecer a adesão interfacial entre fibras e matriz, diminuindo a suscetibilidade à deterioração das fibras.

2.2 Agregado

O agregado utilizado nesta pesquisa é extraído do leito de rio, classificado como agregado miúdo de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009). O agregado miúdo é constituído por partículas com

diâmetro variando entre 0,075 mm e 4,8 mm. Sua distribuição granulométrica é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Curva granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: os autores.

A análise granulométrica tem como objetivo determinar a distribuição das partículas constituintes de um agregado, classificando-as conforme o tamanho. O procedimento foi realizado de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022).

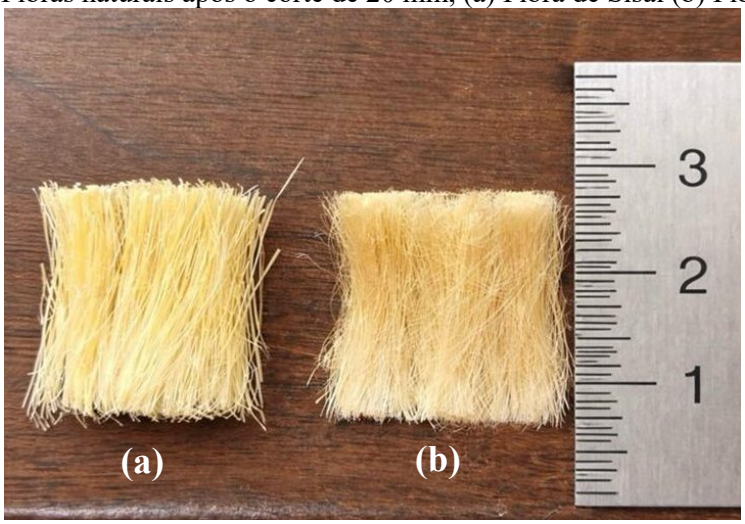
2.3 Água

Foi utilizada a água potável fornecida pelo Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) de Caxias do Sul.

2.4 Fibras naturais

A fibra de Juta (J) foi adquirida de um rolo da empresa SisalSul, em seguida, foram efetuados os cortes para deixá-la com um comprimento de 20 mm. A fibra de Sisal (S) foi produzida a partir de uma corda de sisal adquirida no comércio de materiais de construção e foi efetuado o corte com aproximadamente 20 mm de comprimento. As fibras são apresentadas junto à Figura 2.

Figura 2 – Fibras naturais após o corte de 20 mm, (a) Fibra de Sisal (b) Fibra de Juta.



Fonte: os autores.

A massa específica das fibras naturais foi determinada após o tratamento alcalino, uma vez que essa é a condição em que as fibras foram posteriormente adicionadas aos compósitos. A massa específica da fibra de juta foi de 1,375 g/cm³ e da fibra de sisal foi de 2,37 g/cm³, determinada por meio de um ensaio adaptado da NBR 16605 (ABNT, 2017) e realizado por Pimentel *et al*., (2016).

2.5 Aditivo Superplastificante

Foi utilizado o aditivo Sika ViscoCrete -100 HE, um superplastificante líquido de terceira geração com pega acelerada. Esse aditivo promove maior fluidez e resistência inicial, além de melhorar o tempo de trabalhabilidade da mistura.

2.6 Tratamento das fibras naturais

Para o tratamento superficial das fibras naturais, foi utilizado o processo descrito por Ferreira (2016), que consiste na imersão das fibras em meio alcalino. As fibras naturais foram imersas em uma solução de 0,73% de hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), por 50 minutos. Válido ressaltar que imersões entre 30 e 60 minutos em concentrações alcalinas baixas (0,5 a 1%) não causam degradação das fibras naturais 50 (SAHA *et al*, 2010 *apud* Mendonça, 2018). Posteriormente, as fibras foram secas a uma temperatura de 60 °C por 30 horas. De acordo com Araújo *et al*. (2008), a temperatura de 60 °C não danifica a fibra, visto que a decomposição da hemicelulose e a degradação da celulose e da lignina, componentes da parede celular que influenciam diretamente a resistência e rigidez da fibra, ocorrem em temperaturas superiores.

2.7 Procedimentos de dosagem e mistura dos materiais

Para este estudo adotou-se o traço 1:3 (aglomerante: agregado) conforme descrito por Pinto (2019) e por Chakraborty *et al*. (2013). A escolha do traço baseou-se nos resultados satisfatórios obtidos por Pinto (2019), que utilizou fibras de curauá, visto que a fibra de curauá possui uma massa específica similar à da fibra de juta e sisal.

Os resultados de Pinto (2019) demonstraram melhorias nas propriedades mecânicas com a incorporação da fibra natural, especialmente na resistência à tração e à flexão. O intuito principal da substituição parcial do cimento, conforme proposto por Rodrigues (2010), foi reduzir a alcalinidade do meio cimentício, fator conhecido por deteriorar a fibra, fazendo-a perder resistência.

A Tabela 1 apresenta o consumo específico de todos os materiais constituídos utilizados nas misturas, detalhado por metro cúbico de compósito.

Tabela 1 - Consumo dos materiais necessários para os ensaios.

CP	Cimento (g/cm)	CCA (g/cm)	Agregado miúdo (g/m³)	Água (g/cm^3)	Fibra de Juta (g/cm^3)	Fibra Sisal (g/m³)	Adit. (g)
CR	344,48	147,64	1476,38	354,57	0,00	0,00	4,25
0,8% J	344,48	147,64	1476,38	354,57	10,80	0,00	8,60
0,8% S	344,48	147,64	1476,38	354,57	0,00	10,80	8,60

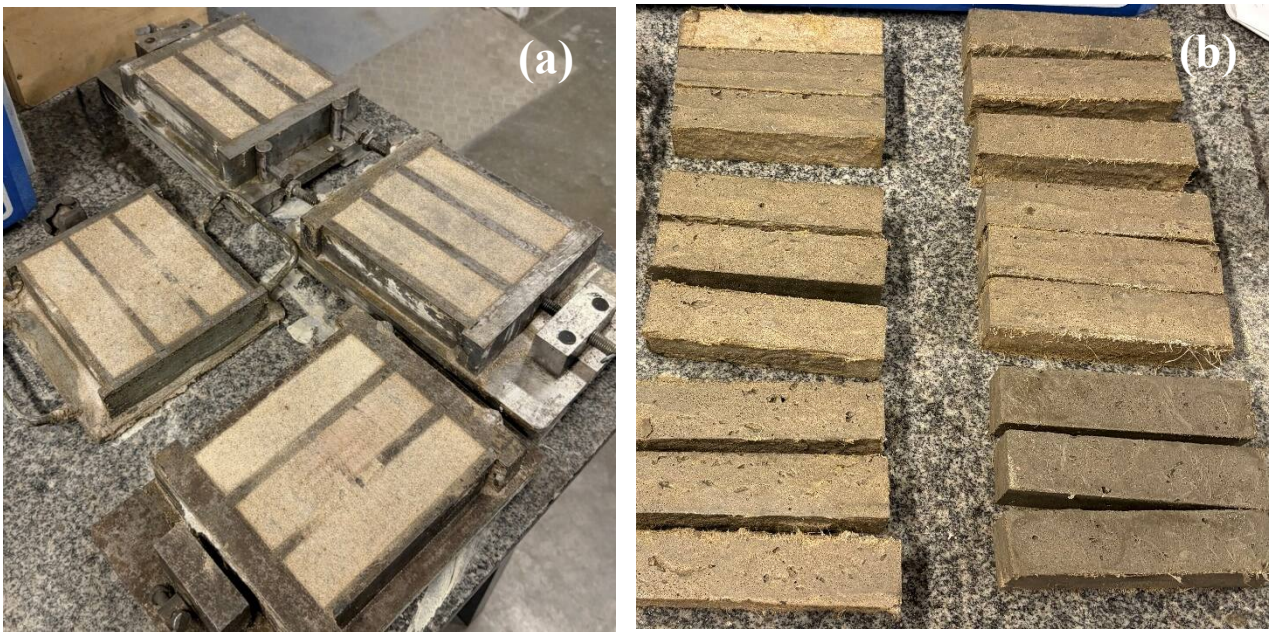
Legenda: Fibra de Juta (J), Fibra de Sisal (S).
Fonte: os autores.

Após o processo de separação, iniciou-se o processo de mistura dos materiais. Os materiais secos da matriz (cimento, fibra e areia) foram adicionados ao misturador, juntamente com as fibras desfiadas e metade, para evitar a formação de ouriços, na velocidade 1 (125 rpm) em torno de 20 segundos, até a mistura se tornar homogênea. O restante da água e do aditivo foi incorporado à mistura e mantido na velocidade 1 (125 rpm). A mistura completa até este ponto foi processada por mais 50 segundos na velocidade 2 (220 rpm) para garantir homogeneidade.

Após, foram realizadas as moldagens e os corpos de prova ficam por 24 horas em repouso no molde; depois deste período, são retirados dos moldes. Em seguida, foram colocados em tanques para o processo de cura, onde permaneceram por períodos de 7 dias e 28 dias.

A Figura 3 apresenta os corpos de prova sendo produzidos nas etapas de moldagem e desforma, antes de serem levados à cura submersa com temperatura controlada.

Figura 3 – Preparação dos corpos de prova. (a) Moldagem (b) Desmoldagem.



Fonte: os autores.

2.8 Ensaio da determinação do índice de consistência

Para a determinação do índice de consistência, procedeu-se conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016). O ensaio consiste em medir o espalhamento da mistura para avaliar sua trabalhabilidade. O molde cilíndrico é preenchido em três camadas de mesma altura, aplicando-se 15, 10 e 5 golpes com o soquete em cada uma delas para a compactação. Em seguida, o molde é retirado verticalmente e a mesa de consistência é acionada, realizando 30 quedas uniformes em 30 segundos. Após o ensaio, o diâmetro do espalhamento é medido em três direções distintas, e os valores são registrados, e com isso atingiu a trabalhabilidade estipulada de 250 mm ± 10 mm conforme NBR 13276 (ABNT, 2020).

2.9 Determinação da densidade no estado fresco

Para a determinação da densidade, inicialmente o recipiente foi pesado com a tampa para a determinação da massa do recipiente vazio, após isso preenchido em três camadas, aplicando-se 20 golpes por camada e três quedas do recipiente após cada etapa, garantindo o adensamento adequado. A superfície foi rasada e o conjunto, limpo externamente, foi pesado novamente para registro da massa total. A execução dos ensaios seguiu os procedimentos descritos na NBR 13279 (ABNT, 2005).

2.10 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão e à Compressão

O ensaio de resistência à tração na flexão determina a capacidade do concreto de resistir a esforços de tração indireta sob solicitação de flexão. Esse ensaio é amplamente utilizado tanto em concretos convencionais quanto em concretos reforçados com fibras, pois permite avaliar não apenas a resistência inicial, mas também o comportamento do material após a fissuração. Para a execução do ensaio, foram usadas como critérios as especificações descritas na NBR 13279 (ABNT, 2005).

2.11 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade é um ensaio utilizado para avaliar a capacidade de um material cimentício de absorver e transportar água através de sua rede de poros, impulsionado pelas forças capilares presentes na microestrutura. O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado conforme a NBR 9779 (ABNT, 2012).

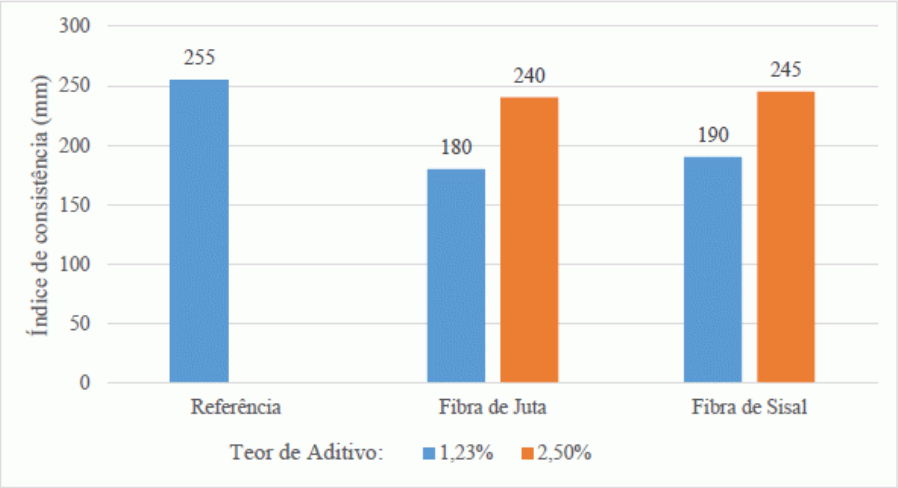
3. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos, por meio de médias simples, e os efeitos da hibridização da fibra natural de juta e de sisal, tratada com hidróxido de cálcio, em diferentes percentuais. Ainda, para as propriedades de resistência à tração na flexão, compressão e absorção de água por capilaridades, é apresentado o desvio padrão das amostras.

3.1 Índice de consistência

O índice de consciência é um parâmetro que avalia a trabalhabilidade de argamassas e compósitos cimentícios no estado fresco. Desta forma, ele avaliou o espalhamento da mistura no estado fresco. Na Figura 4, apresentam-se os resultados obtidos para o traço de referência e para compósitos reforçados com fibras de juta e sisal, mantendo-se constante o teor de fibras de 0,8% do volume do compósito.

Figura 4 - Índice de consistência.



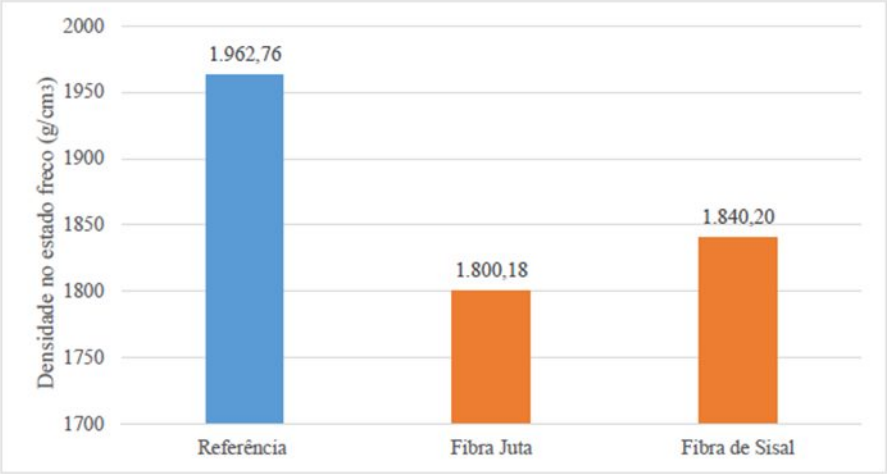
Fonte: os autores.

Os resultados de espalhamento obtidos com 1,23% de aditivo superplastificante confirmam que o aditivo cumpriu seu papel, pois todos os traços reforçados apresentaram melhoria significativa na trabalhabilidade com o aumento da dosagem do aditivo. A referência apresentou melhor trabalhabilidade entre os compósitos e observa-se que o traço 0,8%J foi o que possuiu um menor espalhamento com 1,23% de aditivo, devido à alta capacidade de absorção de água da fibra de juta. Pinto (2019) observou esse mesmo tipo de comportamento quando incorporou fibras de Curauá em compósitos cimentícios, mesmo adicionando um teor de 0,9% de aditivo, os compósitos reforçados com fibras mantiveram uma trabalhabilidade menor do que a referência.

3.2 Densidade no estado fresco

A densidade dos compósitos no estado fresco é um indicador fundamental da qualidade do empacotamento das misturas e do volume de ar incorporado logo após o amassamento. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos da densidade no estado fresco. Todas as misturas contendo fibras possuem 2,50% de aditivo plastificante, porém, o CR possui um total de 1,23%.

Figura 5 - Densidade no estado fresco.



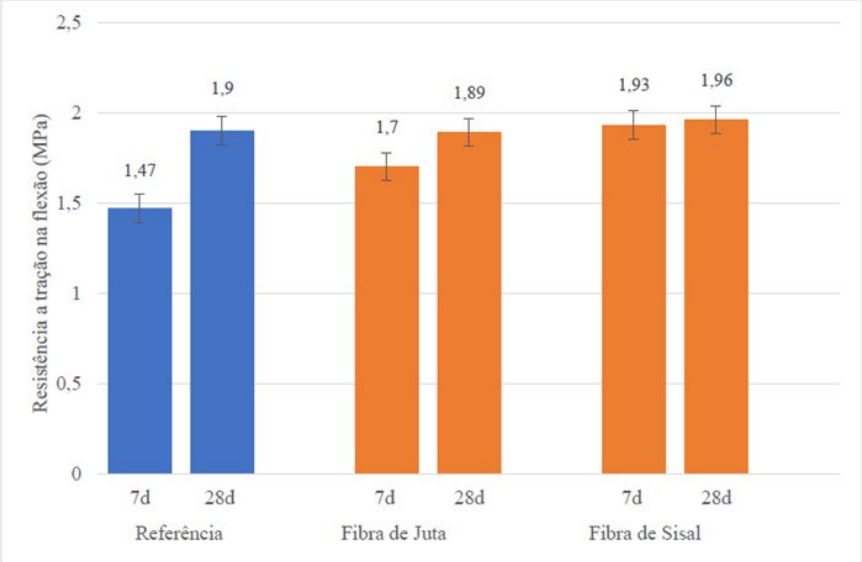
Fonte: os autores.

Na Figura 5, são apresentados os resultados de densidade no estado fresco das amostras e a redução significativa dessa propriedade com a adição de fibras naturais. De modo geral, a incorporação de fibras, tende a reduzir a densidade da mistura em comparação com o traço de referência, devido ao aumento da porosidade e à introdução de material com menor massa específica.
Ehrenbring e Tutikian (2023) obtiveram resultados semelhantes a estes apresentados nesse artigo e explicam que as fibras possuem uma densidade muito menor do que os demais constituintes da matriz cimentícia, e mesmo que o teor de incorporação seja de baixo volume, considerando o volume total, a inclusão desses materiais de menor massa específica no sistema contribui para a redução da densidade no estado fresco do compósito. Indo ao encontro de Savastano et al. (1999), que mencionam que a introdução de fibras vegetais, que têm densidade inferior à da areia e do cimento, reduz o peso próprio do componente.

3.3 Tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão teve como objetivo avaliar a capacidade dos compósitos cimentícios de resistir a esforços de tração indireta, analisando o efeito da adição das fibras de juta e polipropileno, isoladas e combinadas, em três idades de cura de 7 e 28 dias. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Resistência à tração na flexão.



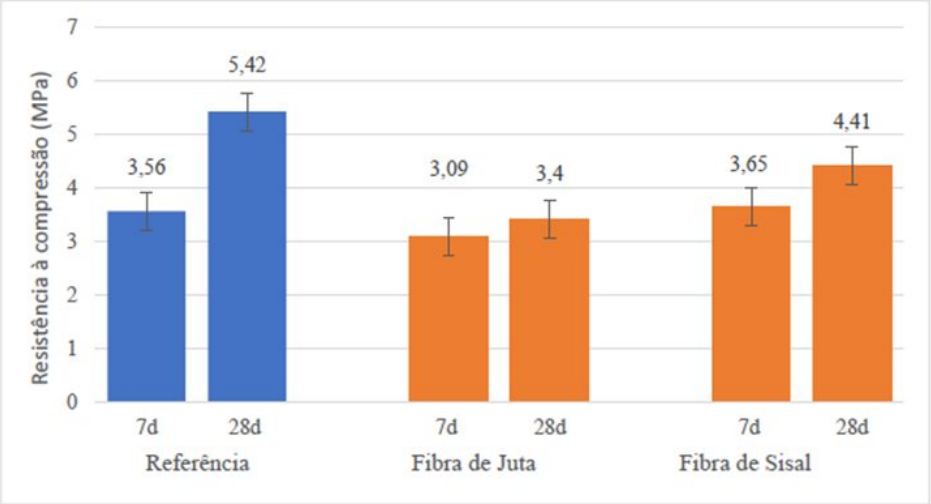
Fonte: os autores.

Os resultados mostram que todas as misturas apresentaram aumento da tração na flexão à medida que a idade de cura avançava. O CR apresentou 1,47 MPa aos 7 dias e 1,90 MPa aos 28 dias. Já o concreto com fibra de juta apresentou 1,70 MPa aos 7 dias e 1,89 MPa aos 28 dias e, por fim, o concreto com fibra de sisal apresentou 1,93 MPa aos 7 dias e 1,96 MPa aos 28 dias. Observa-se que a Fibra de sisal apresentou melhor desempenho principalmente aos 7 dias, porém, especialmente aos 28 dias a diferença foi menor entre as fibras.
Com isso, pode-se dizer que a incorporação de fibras apresentou bom resultado na resistência à tração na flexão, sendo que a fibra de sisal apresentou o melhor desenvolvimento nas idades analisadas. De acordo com Silva (2022), o concreto com adição de fibras de sisal apresenta ganho na resistência mecânica e melhora no comportamento à tração e à flexão, indicando desempenho superior em relação ao concreto convencional.

3.4 Compressão axial

O ensaio de resistência à compressão teve como objetivo avaliar a capacidade dos compósitos cimentícios de resistir a esforços axiais, analisando o efeito da adição das fibras de juta e polipropileno, isoladas e combinadas, em três idades de cura de 7, 28 e 42 dias. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Resistência à compressão.



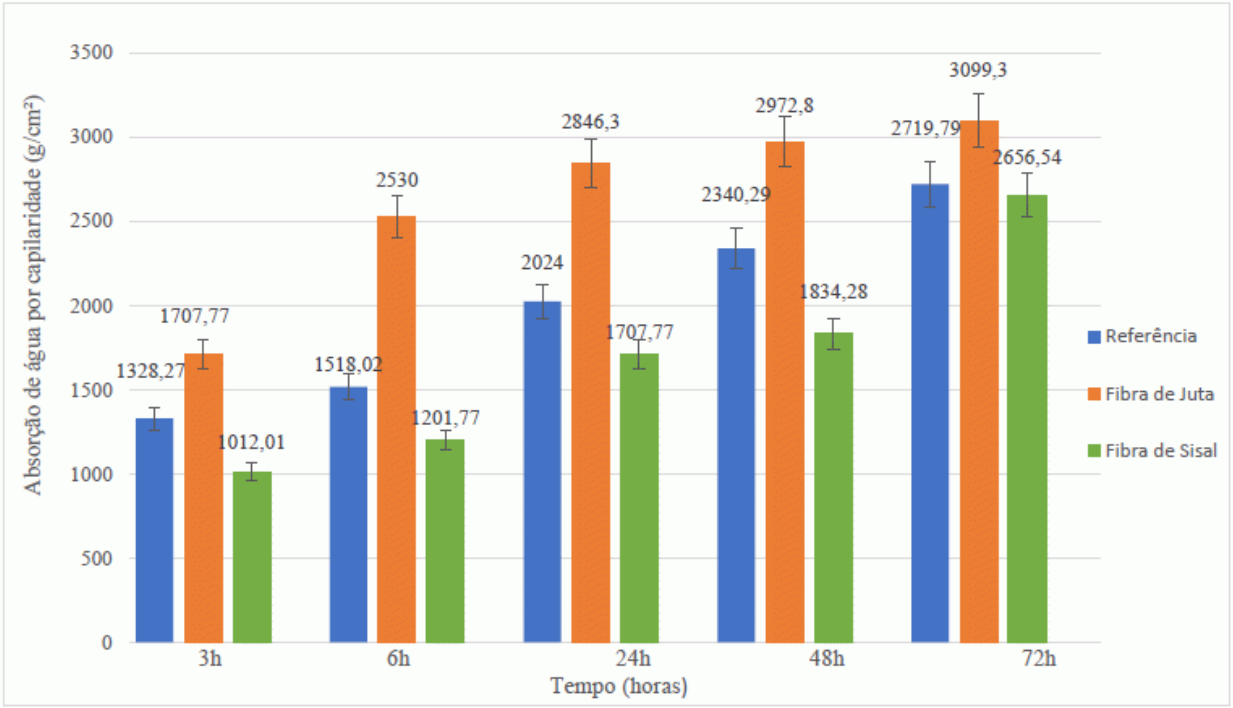
Fonte: os autores.

O concreto de fibra de sisal apresentou o melhor resultado de 3,65 MPa aos 7 dias, comparado com a referência, com 3,56 MPa, e a fibra de juta, com 3,09 MPa, contendo maior resistência mecânica da fibra, desta forma contribuindo para o controle das microfissuras nas idades iniciais. Observa-se também que a referência apresentou maior resistência à compressão aos 28 dias, com 5,42 MPa, comparando-se com a fibra de juta e de sisal. Isso ocorre, pois a incorporação das fibras pode gerar maior quantidade de vazios na matriz cimentícia e elas possuem alta capacidade de absorção de água.
O estudo de Abdullahi Musa e Samson Duna (2017) avaliou o concreto com fibra de sisal e observou que a resistência varia com a idade de cura, aumentando entre 7 e 28 dias.

3.5 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade permitiu avaliar o comportamento dos compósitos quanto ao transporte de umidade através dos poros. Os resultados finais obtidos são representados na Figura 8.

Figura 8 - Absorção de água por capilaridade.



Fonte: os autores.

Observa-se que a absorção de água aumenta com o tempo para todos os compósitos analisados (3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h), indicando o avanço da absorção nos poros do material. O compósito com fibra de juta apresentou os maiores valores de absorção em todos os períodos analisados, com o máximo de 1.707,77 g/cm^2 em 72 horas. O compósito de referência, com valores intermediários, tendo 1.328,27 g/cm^2 com 72 horas. E o compósito com fibra de sisal apresentou os menores índices de absorção, principalmente nas primeiras horas de ensaio, com o resultado de 1.012,01 g/cm^2 com 3 horas, indicando uma melhor compatibilização entre os materiais constituintes. Esse comportamento pode estar relacionado à densidade no estado fresco e à porosidade no estado endurecido. A argamassa com fibra de juta apresentou menor densidade, indicando maior quantidade de vazios na mistura, desta forma, observa-se que essa maior porosidade favorece a absorção de água. Já a Fibra de Sisal apresentou maior densidade no estado fresco, resultando em uma menor quantidade de porosidade, sendo reduzida a probabilidade de entrada de água.
O aumento da absorção de água nos concretos reforçados com a fibra de juta pode ser atribuído ao fato de que mais água pode ser absorvida pela fibra natural bem como pelo fato de que há maior porosidade em concretos com a fibra de juta. A densidade do concreto reforçado com fibra de juta é menor que a densidade do concreto sem fibras de reforço (Ahmad *et al*., 2022).

4. CONCLUSÃO

Essa pesquisa buscou avaliar a utilização das fibras de juta e das fibras de sisal em compósitos cimentícios, para um teor de adição de 0,8% do volume.
No estado fresco, observou-se que a adição das fibras naturais ocasionou uma redução na trabalhabilidade do material, para que se mantivesse o índice de consistência das misturas, houve a necessidade do aumento no teor de aditivo superplastificante. Além de apresentarem redução na sua densidade do compósito com a adição das fibras.
No estado endurecido, para resistência à tração na flexão ao longo do tempo, a incorporação das fibras naturais de sisal influenciou positivamente, porém de maneira discreta, já a fibra de juta teve

um comportamento quase que idêntico à referência. Para a resistência à compressão, a adição das fibras naturais proporcionou redução da propriedade de 19% e 28% para as fibras de sisal e juta.
Na absorção de água por capilaridade ao longo do tempo, observou-se que a adição da fibra de juta aumentou a capacidade de absorção do material, enquanto a adição da fibra de sisal reduziu a absorção quando comparada ao concreto de referência.
Os resultados indicaram que a utilização de fibras naturais como reforço em compósitos cimentícios é um campo promissor. Entretanto, observa-se um aumento na absorção de água por capilaridade com as fibras naturais, o que pode tornar a argamassa vulnerável a fatores externos que podem gerar degradação ao material, reduzindo sua durabilidade.
Dentre as fibras analisadas, o sisal apresentou melhores propriedades que a fibra de juta e, inclusive, melhores que a mistura de referência, o que indica o seu potencial de aplicação no desenvolvimento de produtos de matriz cimentícia. Sua maior capacidade de resistir a tensões internas e externas e de baixa absorção de água contribui para a redução do aparecimento de manifestações patológicas em uma futura aplicação.

5. AGRADECIMENTOS

À Universidade de Caxias do Sul (UCS), pelo suporte com laboratórios, equipamentos que possibilitaram a execução e a prática desta pesquisa e auxílio de bolsa de iniciação científica BIC-UCS, 2025.

REFERÊNCIAS

AHMAD, Jawad; ARBILI, Mohamed Moafak; MAJDI, Ali; ALTHOEY, Fadi; DEIFALLA, Ahmed Farouk; RAHMAWATI, Cut. Performance of concrete reinforced with jute fibers (natural fibers): a review. Journal Of Engineered Fibers And Fabrics, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 1-17, jan. 2022. SAGE Publications. http://dx.doi.org/10.1177/15589250221121871.

ARAÚJO, J. A. *et al.* **Comportamento mecânico de compósitos cimentícios reforçados com fibras naturais.** Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 451–460, 2008.

BDULLAHI, M.; MUSA, A.; DUNA, S. **Mechanical properties of natural fiber reinforced cement composites.** Construction and Building Materials, v. 152, p. 287–295, 2017.

CASTOLDI, R. **Avaliação das propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

CHAKRABORTY, S. *et al*. **Performance of natural fiber reinforced cement composites.** Construction and Building Materials, v. 38, p. 776–781, 2013.

EHRENBRING, H.; TUTIKIAN, B. F. **Durabilidade de compósitos cimentícios reforçados com fibras naturais.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo, v. 16, n. 2, 2023.

FERREIRA, S. R. **Effect of surface treatments on the structure, durability and bond behavior of vegetable fibers for cementitious composites.** 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

FIGUEIREDO, A. D. DE. **Concreto reforçado com fibras.** 2011. 256 f. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2011.

MOHR, B. J. *et al*. **Durability of natural fiber reinforced cement composites.** Cement and Concrete Composites, v. 28, p. 97–104, 2006.

MENDONÇA, R. **Estudo de compósitos cimentícios reforçados com fibras naturais.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

PINTO, M. R. **Avaliação da incorporação de fibras naturais em compósitos cimentícios.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

PRAKASH, R.; SANGEETH, S. **Mechanical behavior of natural fiber reinforced concrete.** Construction and Building Materials, v. 315, p. 125–132, 2022.

PRIYA, M.; SUDALAIMANI, K. **Mechanical and durability properties of natural fiber reinforced cement composites.** Materials Today: Proceedings, v. 72, p. 189–196, 2023.

RODRIGUES, F. **Análise do comportamento mecânico de concretos reforçados com fibras.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SAVASTANO, Holmer; AGOPYAN, Vahan; NOLASCO, Adriana M.; PIMENTEL, Lia. Plant fibre reinforced cement components for roofing. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 13, n. 8, p. 433-438, dez. 1999. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0950-0618(99)00046-x.

TANESI, J.; FIGUEIREDO, A. D. **Influência de fibras no comportamento mecânico do concreto.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo, 1999.

ZUKOWSKI, B. **Mechanical properties of fiber reinforced cementitious composites.** Construction and Building Materials, v. 152, p. 554–561, 2017.

CAPÍTULO 40 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/k7w24y24
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/6wapd693

INFLUÊNCIA DA MÉTRICA DE SIMILARIDADE NO DESEMPENHO DE REDES ARTMAP NA PREVISÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETOS DE ULTRA ALTO DESEMPENHO COM METACAULIM

Murilo Henrique Lima de Souza[1]*, Reginaldo José da Silva[2]; Thays Aparecida de Abreu Santos[3]; Mara Lúcia Martins Lopes[3]
*Autor de contato:murilo.l.souza@unesp.br

[1] Departamento de Engenharia Civil, UNESP - FEIS, Ilha Solteira, Brasil
[2] Departamento de Engenharia Elétrica, UNESP - FEIS, Ilha Solteira, Brasil
[3] Departamento de Matemática, UNESP - FEIS, Ilha Solteira, Brasil

RESUMO

Atualmente, torna-se indispensável refletir sobre a interface ambiental da Construção Civil, em razão de seu protagonismo na emissão de poluentes atmosféricos. Diante dos avanços tecnológicos, modelos inteligentes foram aplicados a um banco de dados composto por 180 amostras de concretos de ultra alto desempenho (CUAD) com substituição parcial do cimento por metacaulim, com o objetivo de avaliar a resistência mecânica frente às solicitações estruturais. Dois cenários de modelagem foram investigados: o primeiro sem a variável teor de metacaulim como entrada, e o segundo com sua inclusão, permitindo analisar em que medida essa informação contribui para a qualidade das previsões. Os resultados foram comparados entre valores reais e estimados, considerando diferentes arquiteturas de Redes Neurais (ARTMAP-Fuzzy, ARTMAP Euclidiana e ARTMAP Manhattan) a fim de analisar o potencial preditivo e o desempenho de cada modelo frente às métricas adotadas.
Palavras-chave: Concretos; ARTMAP; Metacaulim. Substituições Parciais, Previsões.

ABSTRACT

Currently, it is essential to reflect on the environmental interface of the Construction Industry due to its significant role in atmospheric pollutant emissions. In light of technological advancements, intelligent models were applied to a database composed of 180 samples of ultra-high performance concrete (UHPC) with partial cement replacement by metakaolin, aiming to evaluate mechanical strength properties under structural loading conditions. Two modeling scenarios were investigated: the first without the metakaolin content as an input variable, and the second with its inclusion, allowing analysis of the extent to which this information contributes to prediction quality. The obtained results were compared between real and predicted values, considering different Neural Network architectures (Fuzzy ARTMAP, Euclidean ARTMAP and Manhattan ARTMAP), in order to analyze the predictive potential and performance of each model under the adopted metrics.
Keywords: Concrete; ARTMAP; Metakaolin; Partial Replacement; Predictions.

1. INTRODUÇÃO

Segundo estudos consolidados na literatura, “a indústria do cimento é responsável por aproximadamente 7-8% das emissões globais antropogênicas de CO_2” (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018). Esses dados indicam a necessidade de se desenvolver e empregar materiais capazes de substituir parcialmente os insumos convencionais, em especial o cimento Portland, ligante artificial produzido por meio da calcinação de matérias-primas como calcário, argila e, em menores proporções, minério de ferro.

Nesse cenário, relatórios técnicos recentes apontam que “em 2022, as emissões globais médias da produção de cimento situaram-se em aproximadamente 560 kg de CO_2 por tonelada de cimento produzido” (IEA, 2023), conforme dados da International Energy Agency. Essas evidências reforçam a importância da adoção de estratégias de mitigação, entre elas a incorporação de adições minerais e a redução do teor de clínquer, medidas associadas à diminuição da intensidade de carbono do setor.

Para que tais estratégias sejam tecnicamente viáveis, o concreto compósito não pode apresentar redução de sua resistência mecânica, propriedade diretamente relacionada à capacidade de resistir às tensões de compressão. Nesse contexto, a incorporação de metacaulim como material pozolânico pode contribuir para a manutenção ou até para o aprimoramento do desempenho mecânico, ao favorecer a formação de uma matriz cimentícia mais densa e coesa. A reação pozolânica do metacaulim com o hidróxido de cálcio promove a formação adicional de produtos cimentantes, o que resulta em melhor empacotamento das partículas e refinamento da microestrutura, com reflexos na qualidade e no desempenho mecânico do compósito.

Concretos com baixa resistência mecânica apresentam maior suscetibilidade ao surgimento de fissuras, que podem evoluir para trincas e rachaduras. Essas manifestações patológicas comprometem o desempenho estrutural, afetando a estabilidade, a rigidez e o equilíbrio mecânico das edificações, além de reduzir potencialmente sua vida útil.

No campo da modelagem computacional, destacam-se as redes neurais ARTMAP, arquiteturas baseadas na Teoria da Ressonância Adaptativa (*Adaptive Resonance Theory*). Entre as principais variações encontram-se as redes ARTMAP Fuzzy, ARTMAP Euclidiana e ARTMAP Manhattan. Suas arquiteturas estruturais permanecem, em grande medida, semelhantes entre as versões.

Extensões métricas da ARTMAP permitem redefinir a função de similaridade por meio de normas L_p, incluindo as distâncias Euclidiana (L_2) e Manhattan (L_1), preservando a estrutura original da arquitetura e o mecanismo de ressonância adaptativa (CARPENTER; GROSSBERG, 1991; GROSSBERG, 2013; BRITO DA SILVA; ELNABARAWY; WUNSCH, 2019). Essas variações modificam a geometria das regiões de decisão no espaço de atributos, sem alterar a estrutura arquitetural e o mecanismo de funcionamento da rede.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência da métrica de similaridade no desempenho preditivo de redes ARTMAP aplicadas à previsão da resistência à compressão de concretos de ultra alto desempenho (CUAD) com substituição parcial do cimento por metacaulim. Para isso, dois cenários de modelagem são investigados: no primeiro, o teor de metacaulim é substituído pela variável slump como preditor; no segundo, o teor de metacaulim é incluído diretamente como variável de entrada, em detrimento do slump. Essa estrutura permite analisar em que medida a

disponibilidade de cada uma dessas variáveis altera o comportamento preditivo das diferentes arquiteturas.

2. REDES NEURAIS ARTMAP APLICADAS À ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO

As redes neurais da família ARTMAP são fundamentadas na Teoria da Ressonância Adaptativa (*Adaptive Resonance Theory* - ART), proposta por Stephen Grossberg (1976, 2013) e formalizada computacionalmente por Gail Carpenter e Grossberg (1987). Essa teoria foi desenvolvida para solucionar o chamado dilema estabilidade/plasticidade, permitindo que sistemas neurais artificiais aprendam continuamente novos padrões sem comprometer o conhecimento previamente adquirido.

A versão supervisionada da arquitetura, denominada ARTMAP, foi introduzida por Carpenter, Grossberg e Reynolds (1991), possibilitando o mapeamento entre categorias formadas no espaço de entrada e classes de saída. Posteriormente, foi proposta a arquitetura ARTMAP Fuzzy, que incorpora operadores da lógica fuzzy ao mecanismo ART original (CARPENTER; GROSSBERG, 1992).

2.1 Estrutura Geral da ARTMAP

A arquitetura ARTMAP é composta por dois módulos ART (ARTa e ARTb) interligados por um campo de mapeamento inter-art. O módulo ARTa processa os vetores de entrada, enquanto o ARTb representa as categorias de saída (classes). O sistema é estruturado a partir do campo de comparação (F1) e do campo de reconhecimento categórico (F2), além do parâmetro de vigilância (ρ), que controla a granularidade das categorias, e do mecanismo de *match tracking*, responsável pelo refinamento adaptativo durante o processo de aprendizagem. O aprendizado ocorre de forma incremental e supervisionada, característica que torna essa arquitetura especialmente adequada para bases de dados experimentais, como aquelas relacionadas à resistência à compressão do concreto, nas quais novas amostras podem ser continuamente incorporadas ao modelo.

2.2 ARTMAP Fuzzy

A rede ARTMAP Fuzzy utiliza operadores da teoria dos conjuntos fuzzy (CARPENTER et al., 1992). A similaridade entre o vetor de entrada I e o protótipo W_j é definida pela interseção fuzzy e pode ser expressa pela equação (1).

$$| I \wedge W_j | = \sum_i \min (I_i, W_{ji}) \tag{1}$$

As categorias formadas possuem geometria de hiper-retângulos no espaço de atributos. Esse tipo de representação geométrica é adequado para variáveis tecnológicas associadas ao concreto, como relação água/cimento, teor de agregado e idade de cura, que geralmente são normalizadas antes do treinamento da rede.

2.3 ARTMAP com Métrica Euclidiana

Na variante Euclidiana, a similaridade é definida pela distância L_2, dada pela equação (2):

$$d_j = \| I - W_j \|_2 \tag{2}$$

Nesse caso, as categorias assumem formato de hiper-esferas, proporcionando fronteiras de decisão isotrópicas no espaço de atributos. Essa configuração pode apresentar melhor desempenho em situações nas quais as variáveis apresentam distribuição aproximadamente contínua e homogênea.

2.4 ARTMAP com Métrica Manhattan

A adoção da métrica L_1 pode ser interpretada como uma extensão métrica das arquiteturas baseadas na Teoria da Ressonância Adaptativa, nas quais diferentes funções de distância podem ser utilizadas na avaliação da similaridade entre padrões. A versão baseada na norma L_1 é definida pela equação (3):

$$d_j = \sum_i | I_i - W_{ji} | \tag{3}$$

Nessa configuração, as categorias apresentam geometria de hiper-losangos. A métrica Manhattan tende a ser menos sensível a variações extremas em uma única dimensão, podendo apresentar maior tolerância a ruídos experimentais. Assim como na versão Euclidiana, a arquitetura da rede permanece inalterada. A modificação ocorre na função de similaridade utilizada na comparação entre vetores, o que influencia o cálculo da função de escolha e o processo de seleção da categoria vencedora.

3. BASE DE DADOS E PROCEDIMENTO DE MODELAGEM

A base de dados utilizada é composta por 180 amostras de concretos CUAD com substituição parcial do cimento por metacaulim, coletadas de estudos experimentais disponíveis na literatura. Esses concretos caracterizam-se por microestrutura densificada, baixa relação água/cimento e incorporação de adições minerais pozolânicas, o que resulta em elevados níveis de resistência à compressão, compatíveis com a faixa observada entre 100 e 260 MPa. A variável de saída corresponde à resistência à compressão (MPa).

Dois cenários de modelagem foram estruturados a partir desse conjunto, diferenciados pela composição das variáveis de entrada, de modo a simular condições distintas de disponibilidade de informações em contextos práticos de projeto. No Cenário 1, foram adotadas as variáveis relação água/cimento (a/c), consumo de cimento (kg/m³), idade de cura (dias) e abatimento (slump, em mm), sem a inclusão do teor de metacaulim, representando situações em que essa informação não está diretamente disponível ao modelo. No Cenário 2, o slump foi removido e o teor de metacaulim (MK, em %) foi incorporado como preditor, compondo o conjunto: MK (%), a/c, cimento (kg/m³) e idade de cura (dias). Essa estrutura permite investigar em que medida a disponibilidade do teor de metacaulim como variável preditora altera o desempenho de cada arquitetura, e se a métrica de similaridade adotada interage com essa escolha.

Vale destacar que as redes ARTMAP são especialmente adequadas para bases de dados de tamanho moderado. Ao contrário de arquiteturas profundas que exigem grandes volumes de dados para generalização satisfatória, o mecanismo de aprendizagem incremental e supervisionada da ARTMAP permite que o modelo forme categorias estáveis mesmo com conjuntos reduzidos de amostras, sem comprometer o conhecimento previamente adquirido (CARPENTER; GROSSBERG, 1992; GROSSBERG, 2013).

Antes do treinamento, todas as variáveis foram normalizadas pelo método min-max, tanto as entradas quanto a saída, garantindo que os valores ficassem no intervalo [0, 1]. O particionamento dos dados seguiu a abordagem de *hold-out* estratificado pela idade de cura, com 80% das amostras destinadas ao treinamento e 20% ao teste, utilizando semente aleatória fixa (*random_state* = 42) para garantir reprodutibilidade dos resultados.

A seleção dos hiperparâmetros foi realizada exclusivamente sobre o conjunto de treinamento, por meio de otimização bayesiana com 100 tentativas por modelo. O desempenho de cada configuração foi avaliado internamente por validação cruzada K-*fold* com cinco partições (K = 5), tendo como métrica de otimização o RMSE negativo. O conjunto de teste permaneceu isolado durante todo esse processo, sendo utilizado apenas para a avaliação final dos modelos já ajustados. Os indicadores finais de desempenho foram calculados sobre esse conjunto. As métricas adotadas para comparação entre os modelos foram o erro quadrático médio (RMSE), o erro absoluto médio (MAE), o erro quadrático médio (MSE), o coeficiente de determinação (R^2) e o erro percentual absoluto médio (MAPE). Todas as etapas de pré-processamento, treinamento e avaliação foram implementadas em linguagem Python, com o suporte das bibliotecas Scikit-learn, para os procedimentos de normalização, particionamento e validação cruzada, e Optuna, para a otimização bayesiana dos hiperparâmetros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cenário 1 - Previsão sem a variável teor de metacaulim

O Cenário 1 foi estruturado com as variáveis a/c, cimento (kg/m³), idade de cura (dias) e slump (mm) como preditores, excluindo o teor de metacaulim do conjunto de entrada. Essa configuração representa uma situação prática em que o teor de substituição não está disponível como informação direta ao modelo, mas o comportamento de trabalhabilidade da mistura, expresso pelo slump, está presente.

A Tabela 1 apresenta os hiperparâmetros ótimos obtidos para cada arquitetura ARTMAP nesse cenário, após otimização bayesiana com validação cruzada K-*fold* de cinco partições.

Tabela 1 - Hiperparâmetros ótimos dos modelos ARTMAP (Cenário 1)

Modelo	Parâmetro	Símbolo	Valor
ARTMAP Fuzzy	Taxa de aprendizagem	β	0,9993
	Vigilância - entrada	ρ_a	0,5163
	Vigilância - saída	ρ_b	0,9919
	Parâmetro de escolha	α	0,7103
ARTMAP Euclidiana	Taxa de aprendizagem	β	0,8773
	Vigilância - entrada	ρ_a	0,2276
	Vigilância - saída	ρ_b	0,0230
ARTMAP Manhattan	Taxa de aprendizagem	β	0,2704
	Vigilância - entrada	ρ_a	0,5227
	Vigilância - saída	ρ_b	0,0116

Fonte: os autores.

No modelo ARTMAP Fuzzy, o valor elevado de β ($\approx 0{,}999$) indica aprendizado rápido, com atualização quase imediata dos protótipos a cada padrão apresentado. Os valores de ρ_a e ρ_b, situados em patamares intermediário e alto, respectivamente, resultam em categorização com grau

moderado de seletividade na entrada e alta exigência de correspondência na saída. O parâmetro α contribui para a estabilidade do processo de escolha competitiva entre categorias.

Para a rede ARTMAP Euclidiana, os baixos valores de ρ_a e ρ_b indicam maior rigor no critério de correspondência entre os padrões de entrada e as categorias existentes. Em métricas baseadas em distância, valores menores de vigilância exigem maior proximidade entre vetor de entrada e protótipo para que ocorra ressonância, o que tende a favorecer a criação de um número maior de categorias e maior detalhamento na representação dos padrões. A rede ARTMAP Manhattan apresentou configuração intermediária, com ρ_a elevado e ρ_b bastante reduzido, indicando maior tolerância no módulo de entrada e critério mais restritivo no módulo de saída.

Quando se utilizam as métricas Euclidiana ou Manhattan, a interpretação dos valores de ρ difere daquela adotada na versão Fuzzy, pois nessas métricas a análise é baseada na distância entre os dados, e não no grau de similaridade entre eles. De maneira geral, as diferenças nos hiperparâmetros refletem a influência da métrica adotada na dinâmica de categorização da rede.

A Tabela 2 apresenta os indicadores de desempenho obtidos no conjunto de teste para cada arquitetura.

Tabela 2 - Desempenho dos modelos ARTMAP (Cenário 1)

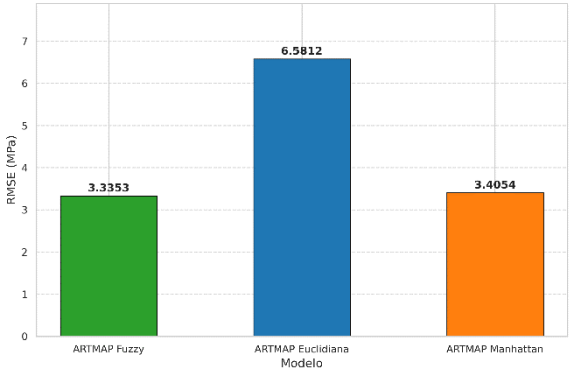
Modelo	RMSE	MAE	MSE	R^2	MAPE (%)
ARTMAP Fuzzy	3,3354	2,7834	11,1250	0,9949	1,6981
ARTMAP Euclidiana	6,5812	4,4236	43,3123	0,9801	2,4524
ARTMAP Manhattan	3,4053	2,9804	11,5964	0,9947	1,8339

Fonte: os autores.

O modelo ARTMAP Fuzzy apresentou o menor RMSE (3,3354), o maior coeficiente de determinação (R^2 = 0,9949) e o menor MAPE (1,6981%), indicando maior proximidade entre os valores previstos e os valores experimentais, bem como menor dispersão dos erros de previsão. O modelo ARTMAP Manhattan apresentou desempenho semelhante, com ligeiro aumento nos erros (RMSE = 3,4053; MAPE = 1,8339%) e redução discreta do coeficiente de determinação (R^2 = 0,9947), mantendo elevada capacidade explicativa. O modelo ARTMAP Euclidiana registrou os maiores valores de erro (RMSE = 6,5812; MAPE = 2,4524%) e o menor coeficiente de determinação (R^2 = 0,9801), indicando maior variabilidade nas previsões geradas.

A Figura 1 apresenta a comparação dos valores de RMSE entre os três modelos.

Figura 1 - Comparação do RMSE entre os modelos ARTMAP (Cenário 1)

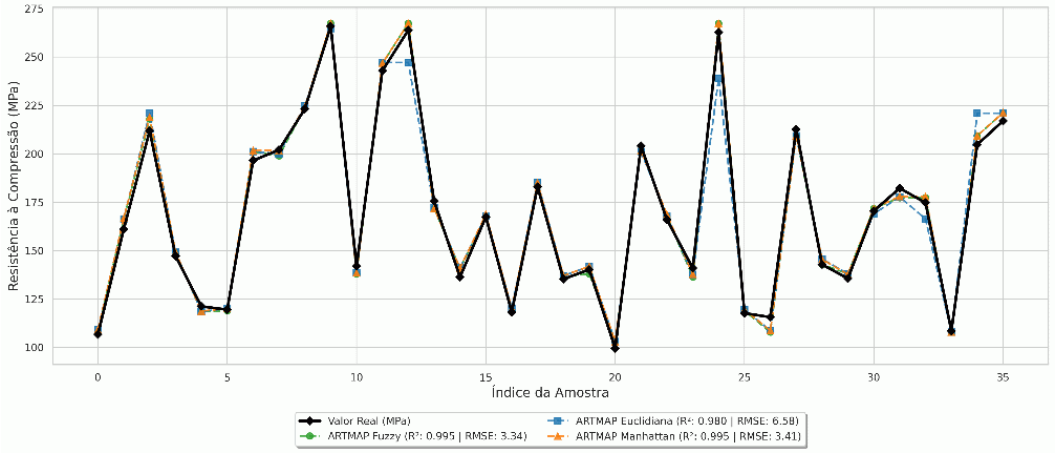


Fonte: os autores.

Os resultados indicam que, no Cenário 1, a métrica Fuzzy, baseada em interseção de conjuntos e geometria de hiper-retângulos, mostrou-se mais adequada para representar a variabilidade dos dados quando o slump está presente e o teor de metacaulim está ausente como preditor. Esse comportamento sugere que, nessa configuração de variáveis, as fronteiras de decisão retangulares da versão Fuzzy capturam melhor a estrutura do espaço de atributos do que as fronteiras isotrópicas da métrica Euclidiana ou os hiper-losangos da métrica Manhattan.

A Figura 2 apresenta a comparação entre os valores experimentais e os valores previstos pelos três modelos ao longo das amostras do conjunto de teste.

Figura 2 - Comparativo entre valores reais e previstos pelos modelos ARTMAP (Cenário 1)



Fonte: os autores.

De modo geral, verifica-se elevada proximidade entre os valores previstos e os experimentais ao longo das amostras, com as maiores discrepâncias concentradas em pontos de transição mais abrupta da resistência. Esse comportamento é esperado em modelos baseados em categorização por similaridade, nos quais regiões de alta variabilidade local tendem a ser mais difíceis de representar com precisão. Ainda assim, todos os modelos apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,98, indicando forte correlação entre dados experimentais e estimados.

4.2 Cenário 2 - Previsão com a variável teor de metacaulim

O Cenário 2 foi estruturado com as variáveis MK (%), a/c, cimento (kg/m³) e idade de cura (dias) como preditores, incorporando o teor de metacaulim ao conjunto de entrada e excluindo o slump. Essa configuração representa uma situação em que a informação sobre o grau de substituição do cimento está disponível ao modelo, permitindo verificar se sua inclusão altera o desempenho preditivo das arquiteturas e, em particular, se modifica o comportamento relativo entre as métricas de similaridade.

A Tabela 3 apresenta os hiperparâmetros ótimos obtidos para cada arquitetura ARTMAP nesse cenário, após otimização bayesiana com validação cruzada K-*fold* de cinco partições.

Tabela 3 - Hiperparâmetros ótimos dos modelos ARTMAP (Cenário 2)

Modelo	Parâmetro	Símbolo	Valor
ARTMAP Fuzzy	Taxa de aprendizagem	β	0,9284
	Vigilância - entrada	ρ_a	0,8456
	Vigilância - saída	ρ_b	0,9945
	Parâmetro de escolha	α	0,6511
ARTMAP Euclidiana	Taxa de aprendizagem	β	0,7852
	Vigilância - entrada	ρ_a	0,8103
	Vigilância - saída	ρ_b	0,0106
ARTMAP Manhattan	Taxa de aprendizagem	β	0,9047
	Vigilância - entrada	ρ_a	0,4656
	Vigilância - saída	ρ_b	0,0001

Fonte: os autores.

A comparação entre as Tabelas 1 e 3 revela mudanças expressivas nos hiperparâmetros ótimos de cada modelo. No Cenário 2, o valor de ρ_a da ARTMAP Fuzzy aumentou de 0,5163 para 0,8456, indicando que a rede passou a exigir maior similaridade entre o vetor de entrada e os protótipos existentes antes de aceitar ressonância. Esse ajuste sugere que a inclusão do teor de metacaulim como preditor reorganiza o espaço de atributos de forma que categorias mais restritas passam a ser necessárias para discriminar adequadamente os padrões.

Para a ARTMAP Euclidiana, o valor de ρ_a aumentou substancialmente, de 0,2276 para 0,8103, mantendo ρ_b em patamar igualmente baixo. Esse comportamento indica que, no Cenário 2, a rede Euclidiana opera com critério de vigilância mais exigente na entrada, formando categorias menores e mais específicas. A ARTMAP Manhattan, por sua vez, apresentou redução expressiva de ρ_b, atingindo valor próximo de zero (0,0001), o que indica um critério mais restritivo no módulo de saída, exigindo maior proximidade entre os padrões e favorecendo a formação de categorias mais específicas.

A Tabela 4 apresenta os indicadores de desempenho obtidos no conjunto de teste para cada arquitetura no Cenário 2.

Tabela 4 - Desempenho dos modelos ARTMAP (Cenário 2)

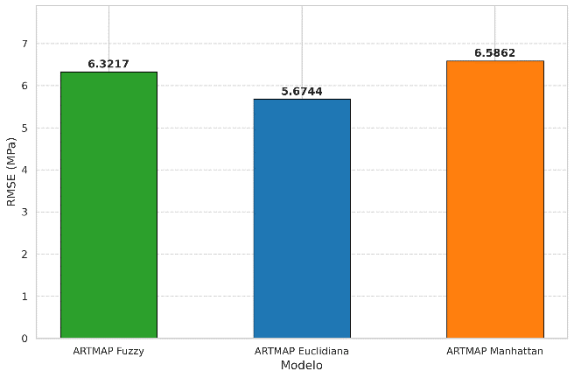
Modelo	RMSE	MAE	MSE	R^2	MAPE (%)
ARTMAP Fuzzy	6,3217	4,2563	39,9643	0,9816	2,5582
ARTMAP Euclidiana	5,6745	3,7420	32,1996	0,9852	2,2061
ARTMAP Manhattan	6,5862	4,6194	43,3775	0,9801	2,8185

Fonte: os autores.

No Cenário 2, o comportamento relativo entre os modelos se diferencia do observado no Cenário 1. A ARTMAP Euclidiana passou a apresentar o melhor desempenho preditivo, com RMSE = 5,6745, R^2 = 0,9852 e MAPE = 2,2061%. A ARTMAP Fuzzy manteve desempenho satisfatório (RMSE = 6,3217; R^2 = 0,9816), e a ARTMAP Manhattan registrou os maiores erros (RMSE = 6,5862; R^2 = 0,9801). Todos os modelos mantiveram coeficientes de determinação superiores a 0,98, evidenciando forte correlação entre valores experimentais e estimados mesmo com a alteração do conjunto de preditores.

A Figura 3 apresenta a comparação dos valores de RMSE entre os três modelos no Cenário 2.

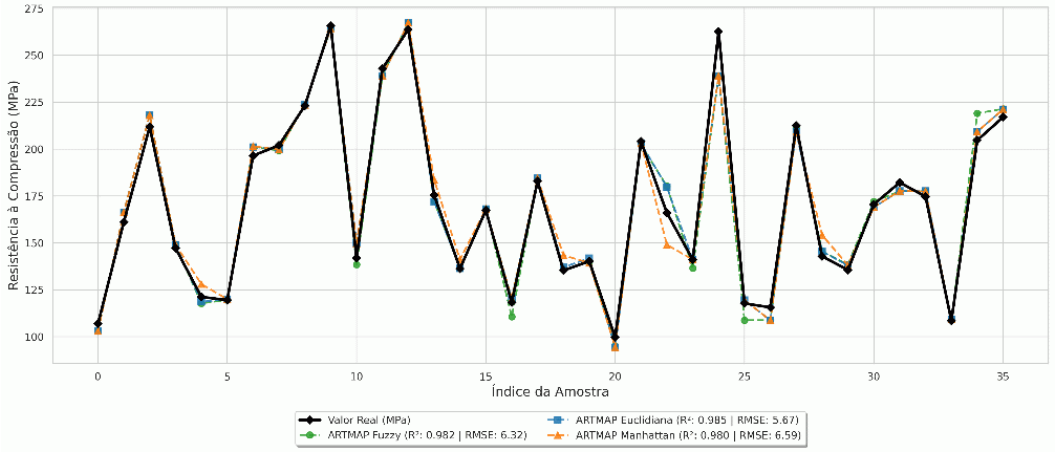
Figura 3 - Comparação do RMSE entre os modelos ARTMAP (Cenário 2)



Fonte: os autores.

A Figura 4 apresenta a comparação entre os valores experimentais e os valores previstos pelos três modelos ao longo das amostras do conjunto de teste.

Figura 4 - Comparativo entre valores reais e previstos pelos modelos ARTMAP (Cenário 2)

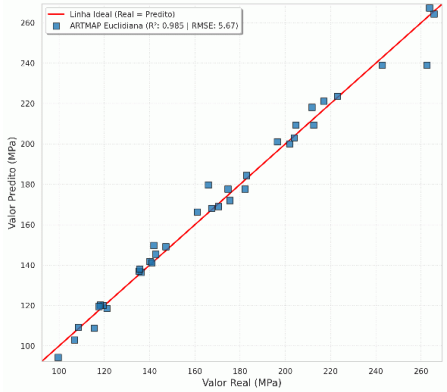


Fonte: os autores.

As maiores discrepâncias concentram-se em pontos de transição mais abrupta da resistência, comportamento esperado em modelos baseados em categorização por similaridade ou distância.

A Figura 5 apresenta o gráfico de dispersão entre valores reais e preditos pelo modelo ARTMAP Euclidiana, que registrou o melhor desempenho nesse cenário.

Figura 5 - Dispersão entre valores reais e preditos pelo modelo ARTMAP Euclidiana (Cenário 2)



Fonte: os autores.

O coeficiente de determinação obtido (R^2 = 0,985) demonstra que aproximadamente 98,5% da variabilidade da resistência à compressão é explicada pelo modelo. O erro quadrático médio (RMSE = 5,67 MPa) pode ser considerado relativamente baixo em relação à faixa de valores analisados, o que reforça a precisão das estimativas geradas pela arquitetura nesse cenário.

4.3 Análise Comparativa entre Cenários

A comparação entre os dois cenários investigados permite discutir a influência conjunta da métrica de similaridade e da composição do conjunto de variáveis preditoras no desempenho das redes ARTMAP. Os resultados obtidos indicam que essas duas dimensões interagem de forma não trivial: a métrica que apresenta melhor desempenho em um cenário não necessariamente mantém essa posição quando o conjunto de entrada é alterado.

No Cenário 1, sem o teor de metacaulim e com o slump como preditor, a ARTMAP Fuzzy registrou os melhores indicadores, com RMSE = 3,3354 e R^2 = 0,9949. No Cenário 2, com a inclusão do teor de metacaulim e exclusão do slump, a ARTMAP Euclidiana passou a apresentar desempenho superior, com RMSE = 5,6745 e R^2 = 0,9852. Essa inversão não representa inconsistência metodológica. Reflete, antes, a sensibilidade de cada métrica à geometria do espaço de atributos formado pelas variáveis disponíveis.

A métrica Fuzzy opera por interseção de conjuntos, formando categorias com geometria de hiper-retângulos. Essa representação tende a ser mais adequada quando as variáveis de entrada apresentam relações de faixa bem delimitadas, como ocorre com o slump, cujos valores se distribuem em intervalos característicos de cada traço. A métrica Euclidiana, por sua vez, forma categorias esféricas e isotrópicas no espaço de atributos. A inclusão do teor de metacaulim, variável contínua que interage de forma aproximadamente proporcional com a resistência, parece favorecer esse tipo de representação geométrica, o que explicaria a inversão de desempenho observada.

Do ponto de vista prático, os resultados sugerem que a disponibilidade do teor de metacaulim como variável preditora não implica necessariamente ganho de desempenho para todas as arquiteturas. A ARTMAP Fuzzy, por exemplo, apresentou aumento nos erros quando o MK% foi incluído e o slump foi removido, ao passo que a ARTMAP Euclidiana se beneficiou dessa troca. Esse comportamento reforça a importância de avaliar a métrica de similaridade em conjunto com a seleção de variáveis, e não de forma isolada.

A Tabela 5 sintetiza os melhores resultados obtidos em cada cenário, permitindo visualizar diretamente a influência da composição do conjunto de preditores sobre o desempenho de cada arquitetura.

Tabela 5 - Comparativo de desempenho entre cenários

Cenário	Melhor modelo	RMSE	MAE	R^2	MAPE (%)
Cenário 1 (sem MK%, com Slump)	ARTMAP Fuzzy	3,3354	2,7834	0,9949	1,6981
Cenário 2 (com MK%, sem Slump)	ARTMAP Euclidiana	5,6745	3,7420	0,9852	2,2061

Fonte: os autores.

De forma geral, os indicadores demonstram que a métrica adotada para definição das categorias e para o cálculo da similaridade entre os padrões de entrada influencia diretamente o desempenho preditivo, e que essa influência varia conforme a composição do conjunto de variáveis. A escolha

da métrica de similaridade, portanto, não deve ser tratada como decisão independente da seleção de preditores, sendo recomendável que ambas sejam avaliadas conjuntamente no processo de modelagem.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que as redes neurais da família ARTMAP apresentam elevado desempenho na previsão da resistência à compressão de concretos de ultra alto desempenho com substituição parcial do cimento por metacaulim. Todas as arquiteturas analisadas apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,98 em ambos os cenários de modelagem, evidenciando forte correlação entre valores experimentais e estimados.

Um aspecto que merece destaque é a capacidade dessas redes de produzir resultados consistentes com bases de dados de tamanho moderado. Com apenas 180 amostras, todos os modelos convergiram para soluções estáveis, o que decorre do mecanismo de aprendizagem incremental da ARTMAP, que não exige grandes volumes de dados para formar categorias generalizáveis. Essa característica torna a arquitetura particularmente pertinente para aplicações em engenharia, campo em que bases de dados experimentais tendem a ser limitadas.

No Cenário 1, sem o teor de metacaulim como preditor e com o slump disponível, a ARTMAP Fuzzy apresentou as melhores métricas de desempenho, com RMSE = 3,3354 e R^2 = 0,9949. No Cenário 2, com a inclusão do teor de metacaulim e exclusão do slump, a ARTMAP Euclidiana registrou o melhor desempenho, com RMSE = 5,6745 e R^2 = 0,9852. A inversão no desempenho relativo entre os cenários indica que a métrica de similaridade interage com a composição do conjunto de variáveis preditoras, de forma que a escolha da arquitetura mais adequada depende das informações disponíveis para o modelo.

Os resultados reforçam que a seleção da métrica de similaridade não deve ser tratada de forma isolada no processo de modelagem. A composição do espaço de atributos, determinada pelas variáveis de entrada disponíveis, influencia a geometria das categorias formadas por cada arquitetura e, por consequência, o desempenho preditivo do modelo. Essa constatação é relevante para aplicações práticas, em que a disponibilidade de dados pode variar conforme o contexto de projeto ou de execução.

Conclui-se que a aplicação das redes ARTMAP constitui uma abordagem eficaz para a modelagem da resistência mecânica de concretos com substituição parcial de cimento por metacaulim, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias técnicas alinhadas à redução do consumo de cimento e à mitigação de impactos ambientais na Construção Civil.

REFERÊNCIAS

BRITO DA SILVA, L.; ELNABARAWY, I.; WUNSCH, D. C. A survey of adaptive resonance theory neural network models for engineering applications. *Neural Networks*, v. 120, p. 167-203, 2019.

CARPENTER, G. A.; GROSSBERG, S. A massively parallel architecture for a self-organizing neural pattern recognition machine. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, v. 37, n. 1, p. 54-115, 1987.

CARPENTER, G. A.; GROSSBERG, S. *Pattern recognition by self-organizing neural networks*. MIT Press, 1991.

CARPENTER, G. A.; GROSSBERG, S. Fuzzy ARTMAP: A neural network architecture for incremental supervised learning of analog multidimensional maps. *IEEE Transactions on Neural Networks*, v. 3, n. 5, p. 698-713, 1992.

CARPENTER, G. A.; GROSSBERG, S.; REYNOLDS, J. H. ARTMAP: Supervised real-time learning and classification of nonstationary data by a self-organizing neural network. *Neural Networks*, v. 4, n. 5, p. 565-588, 1991.

GROSSBERG, S. Adaptive pattern classification and universal recoding. *Biological Cybernetics*, v. 23, p. 121-134, 1976.

GROSSBERG, S. Adaptive resonance theory: How a brain learns to consciously attend, learn, and recognize a changing world. *Neural Networks*, v. 37, p. 1-47, 2013.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Cement – Analysis and Forecasts to 2030*. Paris: IEA, 2023.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO_2 cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research,* v. 114, p. 2-26, 2018.

CAPÍTULO 41 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/ejyeaq24
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/3768ea69

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS CONSTRUÇÕES EM RESIDÊNCIAS NA ENCHENTE NO RIO GRANDE DO SUL/RS E MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DAS MESMAS

Jordana Kaske da Silva
*Autor de contato: jordana_kaske@hotmail.com

[1] Centro Universitário Leonardo da Vinci, Charqueadas, Rio Grande do Sul, Brasil

RESUMO
O presente artigo tem como objetivo discorrer sobre as enchentes que afetaram o Rio Grande do Sul, com foco na região metropolitana de Porto Alegre/RS, em 2024, a qual foi uma das regiões mais impactadas pelo transbordamento do Lago Guaíba e também pela sobrecarga que ocorreu nos sistemas de drenagem urbana; bem como conceituar quais são as principais patologias decorrentes das inundações. Foi identificado o desastre natural que atingiu o estado, após foi conceituado sobre patologia, e após, foram identificadas e caracterizadas cada uma das manifestações patológicas, propondo medidas mitigadoras e corretivas, com registros fotográficos para facilitar a compreensão. Por fim, foi salientada a importância de profissionais com o olhar voltado para esta área e identificados alguns sistemas de mitigação de danos.

Palavras-chave: patologia; enchentes; medidas mitigadoras e corretivas.

ABSTRACT

This article aims to discuss the floods that affected Rio Grande do Sul, mainly the metropolitan region of Porto Alegre/RS, in 2024, and what are the main pathologies resulting from the floods. The natural disaster that hit the state was identified, after which the pathology was conceptualized, and then each of the pathological manifestations were identified and characterized, proposing mitigating and corrective measures, with photographic records to facilitate understanding. Finally, the importance of professionals focusing on this area was highlighted and some damage mitigation systems were identified.

Keywords: pathology; floods; mitigating and corrective measures.

1.INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul foi atingido por fortes chuvas entre o final do mês de abril e início do mês de maio de 2024, o que culminou em diversos alagamentos durante o período. Esse evento foi um dos maiores eventos climáticos causado por enchentes e chuvas intensas no estado nas últimas décadas, tendo em vista que a última grande enchente foi em 1941.
Até agora, 1941 havia ficado marcado como o ano da pior enchente da história de Porto Alegre. Entre os meses de abril e maio daquele ano, a cidade teve 22 dias de chuvas de maneira ininterrupta. (Uol, 2024).

O desastre climático deixou um rastro de destruição, causando diversos danos que afetaram mais de 2,3 milhões de pessoas e forçou milhares de pessoas a abandonarem suas casas.

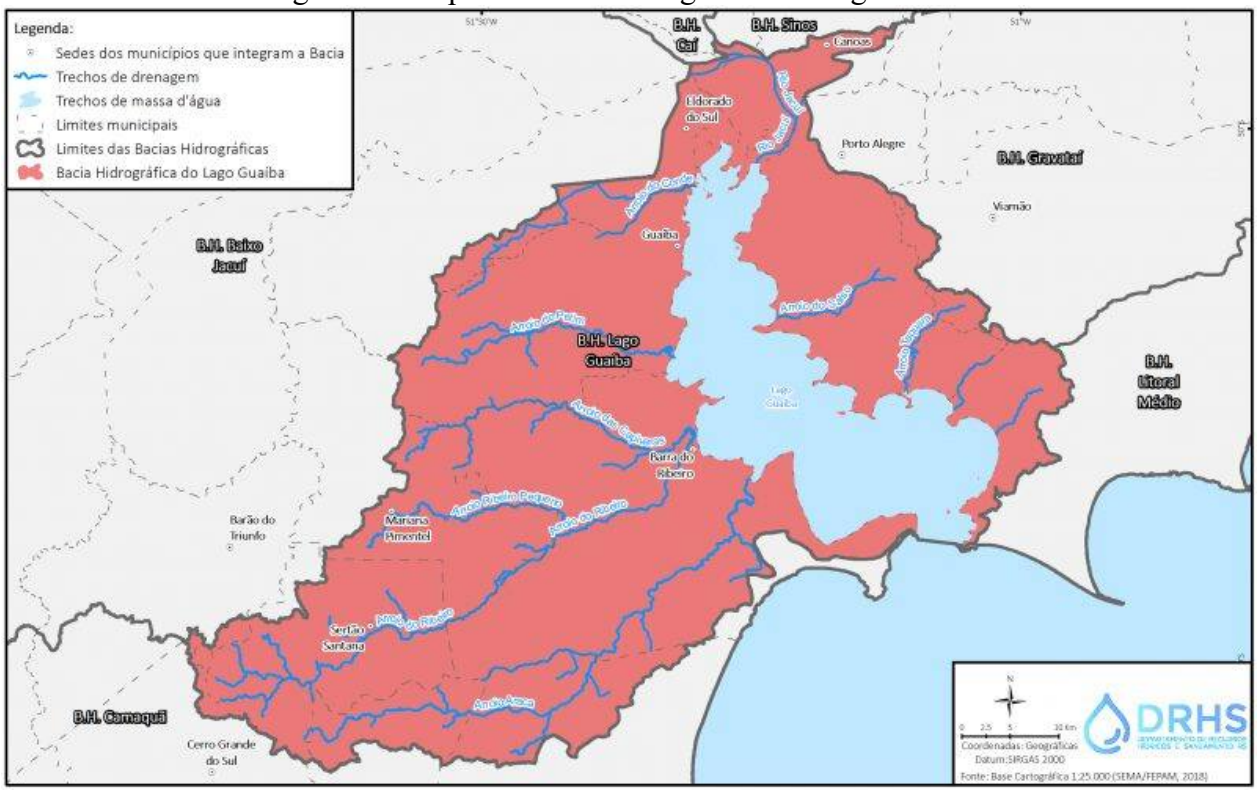
A inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido a falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupa áreas onde a população utiliza para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, indústria, entre otros. (TUCCI, 2004).

As enchentes e inundações representam um dos principais fenômenos naturais que afligem comunidades urbanas ou rurais quando atingidas. Esses fenômenos de natureza hidrometeorológica fazem parte da dinâmica natural (MinC, IPT, 2007).

As inundações desencadearam diversas manifestações patológicas nas construções, as quais comprometem estruturas e causam diversos danos.

No presente artigo, serão avaliadas manifestações patológicas em decorrência das enchentes e chuvas intensas na região metropolitana de Porto Alegre/RS ocorridas em 2024, região em que, segundo o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, é definida por uma intensa rede hídrica, caracterizada pela bacia do Lago Guaíba e seis bacias contribuintes, abrangendo ríos como Jacuí, Sinos, Gravataí e Caí, sendo esta região marcada por alto risco de cheias, debido ao relevo plano e densa urbanização industrial, tend sua captação de agua majoritariamente no Lago Guaíba.

Figura 01. Mapa da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba.



Fonte: Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA/RS). 2024.

As manifestações patológicas na construção civil podem ser causadas por cinco principais fatores de deterioração: físicos, como variações de temperatura e umidade; químicos, envolvendo poeira, fuligem e gases poluentes; biológicos, relacionados a fungos, bactérias e outros organismos;

antrópicos, resultantes da interação humana, como vandalismo e erros construtivos; e naturais, associados a fenômenos como enchentes, vendavais e tremores Neri (1), W. S.; Couto (2), A. B. P. 2025).

Neste caso, serão tratadas patologias decorrentes de fatores naturais, especificamente as enchentes. O objeto deste artigo é identificar, caracterizar e propor soluções para as manifestações patológicas decorrentes de inundações.

2. METODOLOGIA

Para este estudo, foi utilizado revisão bibliográfica, sendo o tema principal abordado para a fundamentação. Os registros fotográficos do presente estudo, são originarios de trabalhos científicos anteriormente publicados sobre o objeto de estudo, bem como publicações de revistas, sites e demais veículos de comunicação. Foi realizado o levantamento bibliográfico de artigos, pesquisas, fontes sobre a problemática das manifestações patológicas, enchentes, alagamentos e inundações. As patologias, neste caso, são geradas por eventos naturais, sendo imprescindível entender a causa do problema para poder definir a melhor solução para o mesmo, sendo possível definir a terapêutica. Nesse sentido, é importante tratar o sintoma observando a causa.

3. PRINCIPAIS PATOLOGIAS DECORRENTE DAS ENCHENTES NO RIO GRANDE DO SUL/RS

3.1 Manchamento

Este fenômeno se caracteriza pela presença de manchas escuras e áreas descoloridas nas paredes, especialmente nas regiões mais baixas onde houve maior exposição prolongada à água. As manchas foram ocasionadas pela penetração de água durante as inundações, resultando em umidade persistente nas superfícies afetadas. A ausência de uma barreira eficaz contra a umidade facilitou a infiltração da água nas paredes, comprometendo tanto a integridade estética quanto, potencialmente, a estrutural dessas superfícies. (Preczevski2 & Farina1, 2024)

Figura 02. Mercado Público de Porto Alegre após ser atingido pela enchente no Rio Grande do Sul/RS.



Fonte: Alex Rocha, Prefeitura Municipal de Porto Alegre. (2024).

Figura 03. Detalhe da imagem da Figura 02, mostrada anteriormente, do Mercado Público de Porto Alegre após ser atingido pela enchente no Rio Grande do Sul/RS.



Fonte: Alex Rocha, Prefeitura Municipal de Porto Alegre. (2024).

Na Figura 03, podemos notar a presença de manchas residuais das enchentes de 2024. Segundo Paixão & Amário (2022), para o tratamento dessa patologia, é essencial realizar limpeza antimicrobrinada, através da eliminação de fungos, utilizando soluções de água sanitária, ou produtos antimicrobianos específicos para eliminar fungos superficiais. Esse tipo de tratamento é utilizado para umidades superficiais, tratando somente a fachada do local, limpando a pintura, não trata a causa de fato.

A seguir, será mostrado a fachada do Mercado Público de Porto Alegre após limpeza, restauração e pintura.

Figura 04. Mercado Público de Porto Alegre reaberto após 41 dias de fechado, após limpeza e restauração.



Fonte: Carlos Macedo, UOL. (2024).

Figura 05. Imagem aproximada da Figura 04, do Mercado Público de Porto Alegre reaberto após 41 dias de fechado, após limpeza e restauração.



Fonte: Carlos Macedo, UOL. (2024).

Considerando as imagens, nota-se ainda a presença de manchamento residual da enchente, mesmo após tratamento da manifestação patológica. Nestes casos, recomenda-se ainda o tratamento da manifestação, através da aplicabilidade das soluções supracitadas.

3.2 Mofo e bolor

São manchas que aparecem normalmente sobre a superfície e, por se tratar de um grupo de seres vivos (fungos, algas e bactérias) se proliferam em condições de clima favoráveis, como em ambientes úmidos, mal ventilados ou mal iluminados.(MONTECIELO, Janaina1; EDLER, Marco Antônio Ribeiro, 2016).

Figura 06. Bolor em residência atingida pela enchente na Zona Norte de Porto Alegre/RS.



Fonte: Camila Cunha, Correio do Povo, 2024.

A presença de mofo em uma edificação pode reduzir a vida útil do imóvel – nos casos mais graves, pode afetar os elementos estruturais, gerando fissuras e outros prejuízos (GAMEIRO, Manoel. 2023).

Segundo Saraiva (2023), para tratar a superfície afetada pelo mofo, recomenda-se borrifar água oxigenada ou água sanitária. Essa limpeza tratará a superfície do local, trazendo limpeza. Porém, para corrigir de fato a causa, deve-se remover o reboco afetado, aplicar impermeabilizante (argamassa polimérica) e refazer o reboco com aditivos impermeabilizante. Deve-se verificar se há locais não impermeabilizados que permitam infiltrações, melhorar a ventilação do ambiente, utilizar tinta antimofo, e realizar um acabamento com qualidade.

São manchas que aparecem normalmente sobre a superfície e, por se tratar de um grupo de seres vivos (fungos, algas e bactérias) se proliferam em condições de clima favoráveis, como em ambientes úmidos, mal ventilados ou mal iluminados. Para corrigir, recomenda-se: Lavar toda área afetada com escova de aço ou pano e uma mistura de água sanitária e água potável na proporção 1:1; deixar a solução agir por aproximadamente 4 (quatro) horas; lavar com água a fim de eliminar resíduos de água sanitária; repetir a operação até a eliminação total do mofo; em áreas externas o uso do hidro jateamento é recomendado; deixar secar e repintar. (MONTECIELO, Janaina; EDLER, Marco Antônio Ribeiro. 2016).

3.3 Eflorescência

A eflorescência é o processo pelo qual os sais solúveis, transportados pela água, migram para a superfície de materiais de construção, como concreto, tijolos e pedras, e cristalizam-se ao evaporar a água. Este fenômeno é frequentemente identificado pelas manchas brancas que se formam na superfície dos materiais.(FILHO, Martins. 2023)

Figura 07. Muro atingido pela enchente de 2024 na Zona Norte de Porto Alegre/RS, com presença de eflorescencia.



Fonte: Carlos Macedo, Folha UOL, 2024.

As principais causas são sais solúveis nos materiais de construção, tais como sulfatos, cloretos e nitratos, que podem estar na fabricação dos materiais ou absorvidos no ambiente ao redor. Neste caso, a presença de umidade é a causa principal do problema, tendo em vista que a água é o veículo que transporta os sais solúveis dos materiais. O fenômeno da eflorescência ocorre quando, a medida que a água vai evaporando, os sais ficam e cristalizam na superfície, causando manchas brancas na superfície, conforme imagem a seguir.

Em casos extremos, a cristalização de sais no interior dos materiais pode gerar tensões que contribuem para a formação de fissuras e danos estruturais (FILHO, Martins. 2023)

De acordo com Neville e Brooks (2013), para prevenir as eflorescências é necessário reduzir o teor de Aluminato tricálcico (C3A) no cimento e reduzir o Hidróxido de cálcio [Ca (OH)2] na pasta de cimento hidratado usando cimentos contendo escória de alto-forno ou pozolanas, como é o caso dos cimentos de classe IV. Desse modo, Bauer (2008) complementa que a utilização de pozolanas no concreto, melhora muito a qualidade do material, elevando a sua resistência aos agentes agressivos, minimizando o surgimento das eflorescências pela percolação de água. O autor complementa que as eflorescências somente se desenvolvem mediante a existência de sais, que podem estar 45 presentes nos materiais, presença e fluxo de água, de maneira que, se for eliminado alguma dessas condições, a eflorescência não se desenvolverá. (SCHUSTER, 2022).

3.4 Criptoflorecêsncia

A criptofloresência é uma manifestação patológica decorrente da eflorescência, porém, ela é caracterizada pela cristalização de sais solúveis no interior dos poros dos materiais (reboco, concreto, tijolo), ocorrendo logo abaixo da superfície revestida, sendo mais prejudicial que a a eflorescência, trazendo danos como descolamento, fissuração, bolhas e descascamento do revestimento ou pintura. Ao se desenvolver, pode pressionar o material, formando rachaduras e prejudicando a estrutura, causando a queda da parede. Neste caso, é necessária a reconstituição do revestimento, remover o reboco e reaplicar uma nova argamassa, de preferência com maior resistência ao sulfato.

A umidade, normalmente em forma de condensação ou proveniente da chuva, tende a levar sais solúveis para dentro do reboco poroso, através da percolação. Após a evaporação dessa água, os sais tendem a sofrer um processo de cristalização dentro do material poroso, causando a expansão da argamassa, e consequentemente a deterioração do reboco. Em suma, quanto maior a porosidade do material, maior a taxa de evaporação da umidade presente em seu interior, e com isso, maior a chance de ocorrer a cristalização dos sais solúveis, visto que a cristalização dos sais ocorre quando “a taxa de migração da solução no sistema poroso do material é inferior à taxa de evaporação” (SOUSA, 2005).

Figura 08. Criptoflorescência em edificação, para exemplicação do que ocorre em decorrência das enchentes.



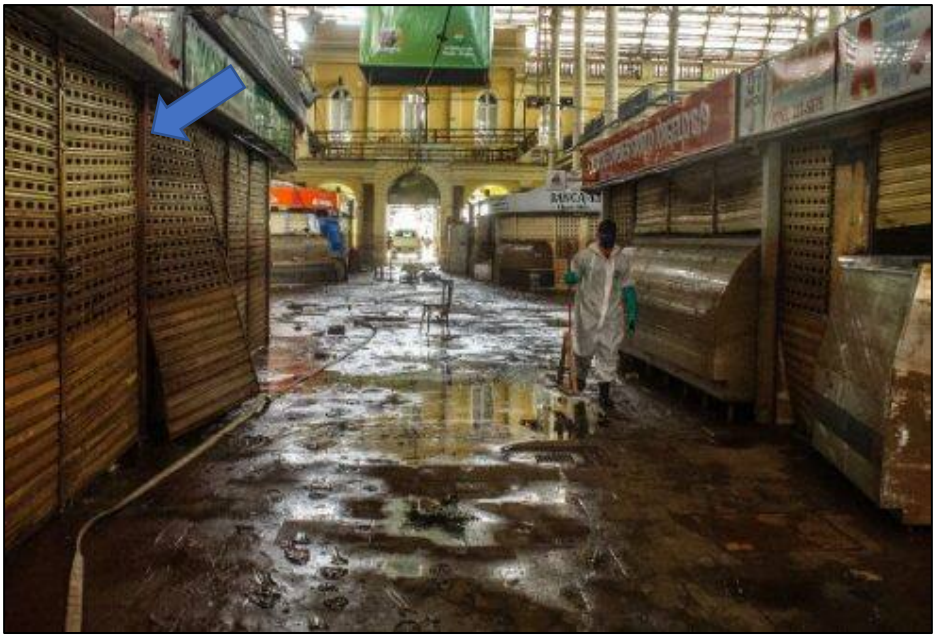
Fonte: Speranza Engenharia, 2024.

Para prevenção desta patologia, é necessário aplicar impermeabilizantes (elastoméricos ou com base acrílica) para evitar que a água penetre. Também é essencial respeitar o período de cura das argamassas novas aplicadas, como 28 dias, antes de aplicar os acabamentos, garantindo a secagem da superfície. Segundo Souza & Paz (2023), é necessário eliminar pontos de infiltração; respeitar tempo de cura da argamassa de reboco, antes da aplicação do cobrimento/revestimento.

3.5 Corrosão de estruturas metálicas

As patologias em estruturas de aço, de modo geral, relacionam-se aos processos de corrosão presentes em seus elementos estruturais constituintes. E, mesmo quando identificadas de forma localizada, como em ligações soldadas e parafusadas, são capazes de levar toda a estrutura ao colapso, resultando em incidentes com prejuízo material ou até acidentes com perdas humanas. Portanto, quanto mais cedo forem analisadas e sanadas, menores serão os custos de manutenção e os riscos de acidentes no local (OFITEXTO, 2020).

Figura 09. Corrosão em elemento metálico após enchente no interior do Mercado Público de Porto Alegre/RS.



Fonte: Evandro Leal/Enquadrar/Estação Conteúdo (2024).

Figura 10. Aproximação da Figura 09, com destaque para corrosão em elemento metálico após enchente no interior do Mercado Público de Porto Alegre/RS.



Fonte: Evandro Leal/Enquadrar/Estação Conteúdo (2024).

A corrosão de elementos metálicos após enchentes é um processo acelerado pela umidade, presença de sais da maresia e contaminantes urbanos, oxigênio, tempo de exposição prolongado, bem como falta de proteção adequada destes materiais.

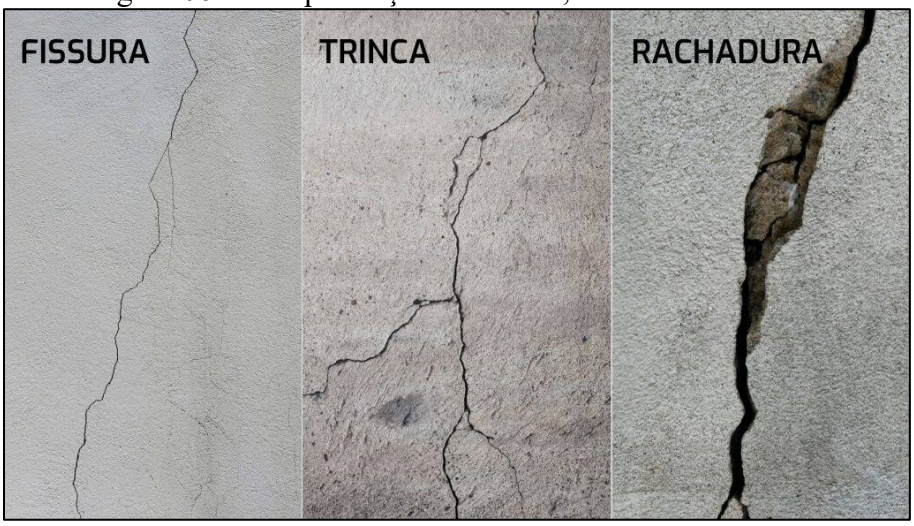
Segundo Neto e Cunha (2020), para tratar a corrosão, é preciso remover a ferrugem e o material danificado, e para evita-lá recomenda-se usar revestimentos metálicos: carboneto de cromo, carboneto de tungstênio, revestimentos de zinco etc; revestimentos orgânicos: pinturas, óleos, substâncias betuminosas etc; evitar contato entre dois metais de constituições diferentes (contato bimetálico); uso de pintura adequada.

3.6 Fissuras, trincas e rachaduras

As fissuras, trincas e rachaduras são as manifestações patológicas que mais geram preocupação dentro do cenário construtivo, pois elas indicam situações de alerta e um possível risco de colapso da estrutura. Essas manifestações patológicas devem ser analisadas de forma cautelosa por um profissional devidamente capacitado para que se possa analisar e definir a causa da patologia, verificando a possibilidade de um reparo estrutural. (SILVA, 2022).

A fissura é uma abertura superficial, de 0,5mm a 1mm, afetando na maioria das vezes a pintura e o revestimento, sem um risco estrutural imediato, indicando um início de movimentação. A trinca é um pouco mais profunda, de 0,5mm a 3mm, atingindo a alvenaria, e quando possuem um formato horizontal ou diagonal pode indicar a presença de um problema estrutural. A rachadura é larga, possuindo acima de 3mm aé 5mm, onde o concreto e o tijolo são rompidos, indicando a movimentação estrutural ativa e risco de ruptura ou desabamento da estrutura.

Figura 06. Exemplificação de fissura, trinca e rachadura.



Fonte: Dalminas, 2025.

Em relação a inundações, ocorre o recalque da fundação, onde a água carreia o solo, fazendo com que a fundação ceda, ocasionando fisuras, trincas, ou no pior dos casos, rachaduras. Além disso, ocorre a saturação dos materiais, tais como tijolo, concreto, aumentando o peso da estrutura, favorecendo o surgimento de fissuras e trincas.

Segundo Araújo et el. (2023), para reabilitação e reforço de paredes de alvenaria, pode-se utilizar pintura acrílica, aplicação de tela de poliéster, recuperação com bandagem de dessolidarização, recuperação com grampos de fixação, substituição das juntas de assentamento, substituição do revestimento, argamassa armada e reboco armado, substituição dos elementos degradados, fechamento das juntas, injeção de resina epóxi expansiva e protensão.
Há situações mais graves, onde pode-se ocasionar instabilidade geotécnica, resultando em recalques diferenciáis (recalques desiguais), rachaduras nas paredes, inclinação de estruturas, e em casos mais graves ainda, o colapso total da estructura como um todo quando não é possível a redistribuição de esforços na estrutura.

Após as enchentes ocorridas, muitos lugares apresentaram fissuras, inclinações e deslocamentos pela perda de suporte do terreno em áreas próximas a rios, encostas e regiões com permanência prolongada da água. Salienta-se que, em caso de danos estruturais por trincas, fissuras e rachaduras, é necessário um diagnostico individual para reparo estrutural.

4. CONCLUSÃO

De acordo com os registros, noticiários, artigos e demais pesquisas bibliográficas realizadas, foi possível identificar, fazer um diagnóstico visual através de registros fotográficos, bem como caracterizar as principais patologias em residências pelas inundações ocorridas em 2024 no Rio Grande do Sul. Foi possível propor medidas de tratamento e mitigação as patologias, e também correção das mesmas, considerando a gravidade e tendência de cada uma.

Nota-se que, em um contexto geral, existem cada vez mais eventos climáticos que causam inundações, devendo este tema ser considerado quando trata-se de materiais construtivos para evitar patologias construtivas, bem como a necessidade de profissionais especializados nesta área. A demanda dessas questões estão, a cada dia que passa, mais urgentes.

Para que seja possível proteger a integridade das estruturas, bem como preservar vidas humanas, evitando catástrofes desta natureza, soluções em engenharia podem auxiliar, tais como sistemas de drenagem inteligentes, reservatórios de detenção, infraestrutura para retenção de águas da chuva, sistemas de separação de sólidos, bem como monitoramento e alertas.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Emerson e Elisandra, pelo constante apoio nesta jornada. Agradeço também a minha família que sempre esteve ao meu lado. Um obrigado aos meus amigos, que me apoiam desde sempre.

REFERÊNCIAS

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. **Regiões e bacias hidrográficas o Rio Grande do Sul.** Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/regioes-e-bacias-hidrograficas>. Acesso em: 27 abr. 2026.

CORREIO DO POVO. **Depois da enchente, umidade e riscos à saúde: a água continua a causar prejuízos.** 2024. Disponível em<https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/cidades/depois-da-enchente-umidade-e-riscos-%C3%A0-sa%C3%BAde-a-%C3%A1gua-continua-a-causar-preju%C3%ADzos-1.1515322. Acesso em 01 mar 2026.

CNN BRASIL. **Veja como ficou o Mercado Público de Porto Alegre após enchente**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/veja-como-ficou-o-mercado-publico-de-porto-alegre-apos-enchente/>. Acesso em: 27 abr. 2026.

DALLMINA. **Fissuras, trincas e rachaduras.** Disponível em< https://www.dallminas.com.br/fissuras-trincas-e-rachaduras/> Acesso em 01 mar 2026.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Secretaria da Saúde. Guia orienta população sobre limpeza das casas após enchente.** 2024. Disponível em:https://saude.rs.gov.br/guia-orienta-populacao-sobre-limpeza-das-casas-apos-enchentes . Acesso em 01 mar. 2026.

FARINA1 & PRECZEVSKI. **Verificação de manifestações patológicas em edificações de Porto Alegre/RS afetadas pelas inundações de 2024.** Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 2024. Disponível em: https://static.even3.com/anais/876740.pdf?v=638920440447939567. Acesso em 01 mar. 2026.

FILHO, Edson Martins**. Eflorescência e lixiaviação na construção**. 2026. Disponível em:< https://emartinsengenharia.com.br/eflorescencia-lixiviacao-na-construcao-civil/#:~:text=1.,formam%20na%20superf%C3%ADcie%20dos%20materiais.> Acesso em 01 mar. 2026.

FOLHA DE S.PAULO**. Reabertura do Mercado Público de Porto Alegre após as enchentes**. Galeria de fotografias. Disponível em:<https://fotografia.folha.uol.com.br/galerias/1801878513741831-reabertura-do-mercado-publico-de-porto-alegre-apos-as-enchentes>. Acesso em: 27 abr. 2026.

IMPERMIG. Posso usar a argamassa polimérica para impermeabilizar paredes com umidade capilar ascendente? 2013. Disponível em: Acessar referência. Acesso em: 27 abr. 2026.

JUNIOR & GUTERRES. **Estudo das patologias em estruturas metálicas**. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), 2020. Disponível em:< https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/37483/1/EstudoPatologiasEstrutura.pdf> Acesso em 01 mar. 2026.

NETO, JARY DE XEREZ.; CUNHA, ALEX SANDER DE. Estruturas metálicas: Manual prático para projetos, dimensionamento e laudos técnicos. Editora Oficina de Textos, 2020.

PAIXÃO, Klaus Lübe; AMARIO, Mayara. **Manifestações patológicas ocasionadas por umidade em edificações.** Revista Boletim do Gerenciamento, n. 33, p. 65-73, 2022.

PODER360. Mercado Público de Porto Alegre reabre após enchentes. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/brasil/mercado-publico-de-porto-alegre-reabre-apos-enchentes/>. Acesso em: 27 abr. 2026.

QUARTZOLIT. **Argamassa polimérica: como acabar com umidade no rodapé**. 2023. Disponível em: <https://www.quartzolit.weber/impermeabilizantes-quartzolit/rodapes/impermeabilizante-recupera-rodape-quartzolit> Acesso em: 27 abr. 2026.

RIO GRANDE DO SUL. **Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. G080 – BH Guaíba.** Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/g080-bh-guaiba>. Acesso em: 27 abr. 2026.

SARAIVA, Osvaldo Lailson da Costa**. Impermeabilização: método corretivo de patologias oriundas da ascensão de capilaridade dos sais ao longo de paredes de residências de alvenaria convencional.** [2023]. Disponível em <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/3123>. Acesso em: 27 abr. 2026.

SILVA, Daiane L. **PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: manifestações de trincas, fissuras e rachaduras nas edificações.** Paracatu, 2022. Disponível em< https://www.atenas.edu.br/uniatenas/assets/files/spic/monography/1/6/PATOLOGIA_EM_ESTRUTURAS_DE_CONCRETO_ARMADO__manifestacoes_de_trincas__fissuras_e_rachaduras_nas_edificacoes_2022.pdf> Acesso em 01 mar 2026.

SCHUSTER, Igor. Estudo sobre eflorescências ocasionadas em alvenaria estrutural cerâmica. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2022.

SOUZA, Emerson Trindade de; PAZ, Jônatas Felipe Lucas da**. Patologia na construção civil: causas e efeitos da umidade no interior das edificações de alvenaria da Universidade Federal de Pernambuco.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

TUCCI, Carlos E. M. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil.** REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 1, n. 1, p. 59-73, jan./jun. 2004.

CAPÍTULO 42 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/bh4fkn25
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/26nzzy32

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE PROPRIEDADES AUTOLIMPANTES EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO À BASE DE CIMENTO BRANCO COM INCORPORAÇÃO DE DIFERENTES ADITIVOS MINERAIS, ATRAVÉS DA DEGRADAÇÃO DE PIGMENTO

Leticia Lange[1]*, Kim Lisbôa Daudt Maus[1]; Bruna Gabriela Schuster[1]; Eduarda Rafaela Novello[1] e Daiana Cristina Metz Arnold[1]
*Autor de contato: 0138371@feevale.br

[1] Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil

RESUMO

Considerando o crescimento dos centros urbanos, associado à presença de poluentes atmosféricos, observa-se o surgimento de manifestações patológicas em fachadas de edificações, como os manchamentos. Nesse contexto, com o objetivo de mitigar tais ocorrências tem-se desenvolvido revestimentos de argamassa com propriedades autolimpantes, obtidos pela incorporação de aditivos minerais capazes de promover a fotocatálise. O presente trabalho propõe a comparação de desempenho autolimpante de amostras de argamassa de revestimento à base de cimento branco, incluindo uma formulação sem incorporação de fotocatalisadores (amostra referência), formulações contendo óxido de zinco (ZnO) nas proporções de 1%, 2% e 3% e formulações com dióxido de titânio (TiO_2), nas mesmas proporções. Para a avaliação, estabeleceu-se um método de ensaio acelerado, que consistiu no manchamento dos corpos de prova com corante azul de metileno, seguido de exposição em câmara ultravioleta (UV). A variação de cor foi aferida por meio de colorimetria, sendo os resultados analisado com base no sistema CIE L*a*b*. Os resultados obtidos indicaram que a incorporação de fotocatalisadores na argamassa contribui para maior degradação do pigmento utilizado, quando comparada à formulação de referência.

Palavras-chave: fotocatálise; óxido de zinco; dióxido de titânio; azul de metileno; argamassa de revestimento.

ABSTRACT

Considering the growth of urban centers, associated with the presence of atmospheric pollutants, the emergence of pathological manifestations on building façades can be observed, such as staining. In this context, in order to mitigate such occurrences, mortar coatings with self-cleaning properties have been developed through the incorporation of mineral additives capable of promoting photocatalysis. The present study proposes a comparison of the self-cleaning performance of white cement-based coating mortar samples, including a formulation without photocatalyst incorporation (reference sample), formulations containing zinc oxide (ZnO) in proportions of 1%, 2%, and 3%, and formulations containing titanium dioxide (TiO_2) in the same proportions. For the evaluation, an accelerated testing method was established, consisting of staining the specimens with methylene blue dye, followed by exposure in an ultraviolet (UV) chamber. The color variation was measured through colorimetry, and the results were analyzed based on the CIE L*a*b* color system.The obtained results indicated that the incorporation of photocatalysts into the mortar contributes to greater degradation of the pigment used when compared with the reference formulation.

Keywords: Photocatalysis; zinc oxide; titanium dioxide; methylene blue; coating mortar.

1. INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional, refletido na intensificação do processo de urbanização e industrialização, aliado a limitações financeiras para manutenções preventivas, pode favorecer o acúmulo de microrganismos e poluentes atmosféricos nas fachadas das edificações. Associados às condições climáticas, esses fatores podem contribuir para a degradação desses sistemas, reduzindo desempenho e vida útil, consequentemente aumentando a necessidade de intervenções de manutenções (Casarin *et al.*, 2022; Shaheen *et al.*, 2024).

Bersch, Masuero e Dal Molin (2023) ressaltam que um ambiente construtivo sustentável deve ser capaz de mitigar impactos climáticos, contemplando também demandas de conservação. Nesse contexto, evidencia-se a necessidade de estudos direcionados ao desenvolvimento de cidades que, além de habitáveis, sejam planejadas e mantidas de forma resiliente e sustentável. Em consonância com essa perspectiva, a Agenda 2030 das Nações Unidas, por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ressalta a importância de implementação de práticas e tecnologias direcionadas ao aprimoramento da infraestrutura urbana e à promoção da qualidade de vida.

Entre as manifestações patológicas apresentadas em edificações localizadas em áreas urbanas, destaca-se o manchamento em revestimentos de fachadas, como uma das ocorrências mais frequentes. Este fenômeno pode ocorrer devido à presença de umidade, da colonização biológica, ou da deposição de sujidades oriundas de partículas presentes na atmosfera. Este último fator é associado à poluição do ar, resultante da queima incompleta de combustíveis fósseis em processos industriais, veículos movidos a diesel e sistemas de aquecimento, os quais favorecem o acúmulo de dióxido de enxofre e óxido de nitrogênio. De modo geral, o manchamento não só compromete a estética das construções, mas também na habitabilidade destas, devido à perda de integridade, funcionalidade e durabilidade. Tais condições implicam em aumento nos custos relacionados à manutenção e reparos, situações frequentemente agravadas pela inexistência ou limitação de métodos de limpeza plenamente eficientes (Trevisto, 2016; Pietrosk *et al.*, 2019; Silva e Fioriti 2020; Aschebrock, 2021; Otuka, 2022; Santos e Laursen 2022; Branco *et al.,* 2024).

Como estratégia para mitigar essa problemática, o desenvolvimento de soluções autolimpantes aplicadas a revestimentos argamassados em fachadas apresenta-se como uma alternativa promissora. Nesse contexto, Hamidi e Aslani (2019), Jędrzejczak *et al.* (2022), Mocioiu *et al.* (2022), Raha e Ahmaruzzaman (2022) e Hu *et al.* (2025) destacam a incorporação de aditivos minerais com propriedades autolimpantes às superfícies, explorando a fotocatálise como mecanismo central para o desempenho dessas funcionalidades. Por meio desse processo, a superfície torna-se capaz de promover reações induzidas pela radiação ultravioleta, possibilitando a degradação de contaminantes e microrganismos. Dessa forma, contribui-se para a manutenção das características visuais originais das superfícies mesmo quando expostas a ambientes agressivos, configurando a incorporação de materiais fotocatalíticos como uma medida preventiva frente à deterioração estética e funcional das edificações (Behling *et al*.,2025).

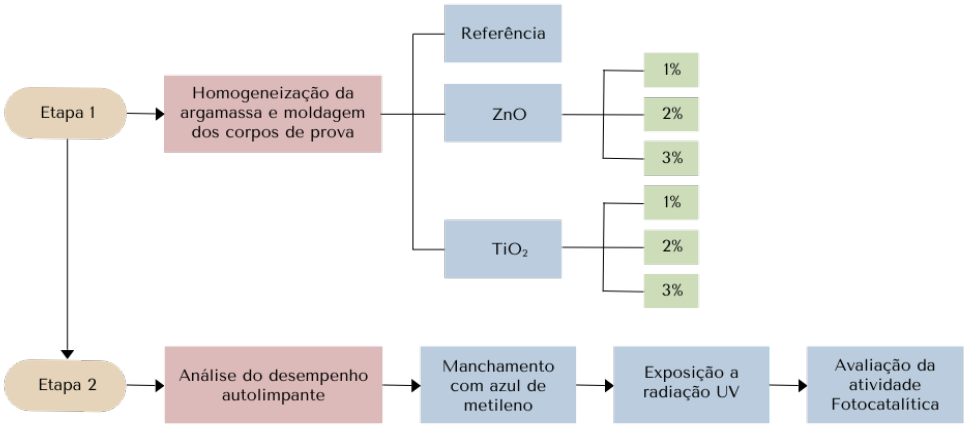
Dentre os aditivos minerais usualmente estudados, destacam-se a utilização de óxido de zinco (ZnO) e dióxido de titânio (TiO_2). Acerca do ZnO, autores como De Maria *et al.* (2024) e Pourali *et al.* (2025) destacam que o material se apresenta como um semicondutor metálico, com capacidade para degradação de compostos orgânicos, favorecida pela alta mobilidade eletrônica, bom desempenho fotoquímico e natureza não-tóxica. Em relação ao TiO_2, Diamanti *et al.* (2013) e Behling *et al.* (2025) referem que a eficiência da fotocatálise está diretamente relacionada à quantidade de radiação absorvida pelo composto, gerando dois efeitos simultâneos: a oxirredução das substâncias adsorvidas na superfície e a hidrofilicidade. No intuito de avaliar a eficiência da fotocatálise, estudos como o de Silva (2022), Kalaycıoğlu *et al.* (2023) e Farghaly *et al.* (2024),

utilizaram azul de metileno como agente de contaminação, realizando o manchamento das amostras com o corante, e a degradação aferida como métrica para avaliação do processo de limpeza.
Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência das argamassas de revestimento à base de cimento branco, com diferentes teores de incorporação de ZnO e TiO_2, quanto a sua capacidade autolimpante, por meio da análise da degradação do pigmento azul de metileno.

2. METODOLOGIA

Na Figura 1 apresenta-se o fluxograma da metodologia adotada para o alcance dos objetivos estabelecidos neste estudo. Para a realização do programa experimental, foram utilizados como materiais argamassa industrializada de revestimento à base de cimento branco, impermeável, recomendada para áreas internas e externas; a seleção desse material teve como finalidade possibilitar a visualização mais clara da degradação do corante. Adicionalmente, foram empregados fotocatalisadores, dióxido de titânio P-25 e óxido de zinco (ZnO P.A.), além do corante azul de metileno, utilizado para manchamento das amostras.

Figura 1: Fluxograma da metodologia utilizada

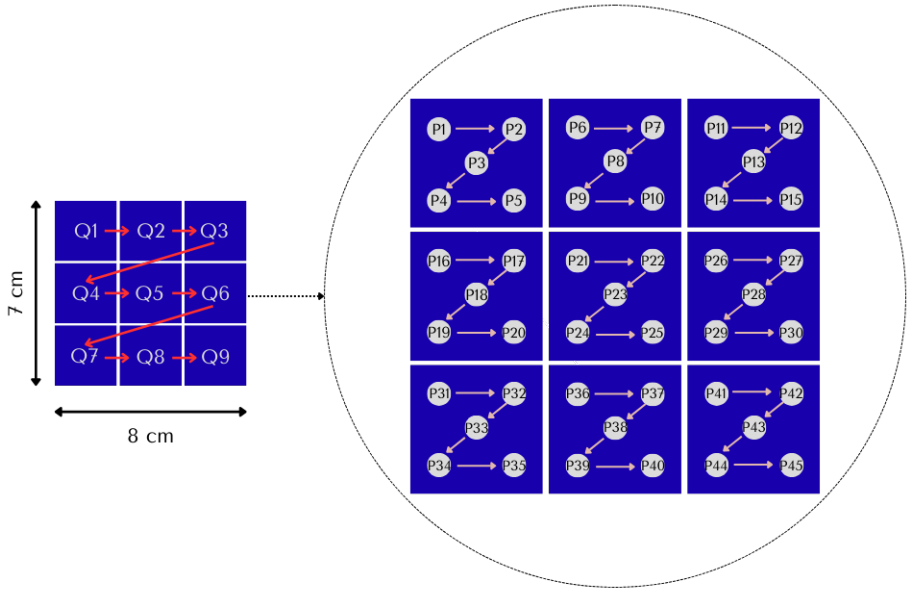


Fonte: Autores (2026).

A preparação da argamassa foi conduzida conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 16541 (ABNT, 2016), sendo a relação água/cimento (a/c) adotada de acordo com as recomendações do fabricante. A incorporação dos fotocatalisadores, por sua vez, foi realizada juntamente com os materiais secos. A definição dos teores de TiO2 teve como base os estudos desenvolvidos por Casagrande (2012), Casarin (2019), Ribeiro (2021), Aschebrock (2021) e Bersh (2021), enquanto os teores de ZnO foram estabelecidos de modo a seguir os mesmos valores. Ainda, foi produzida uma amostra de referência, utilizada como parâmetro comparativo. Para a avaliação do desempenho autolimpante, foram moldados corpos de prova (CPs) com dimensão de 8 cm x 7 cm x 2 cm.
A avaliação da capacidade autolimpante foi conduzida por meio de ensaio acelerado, iniciado com o manchamento dos CPs moldados, utilizando corante azul de metileno, na proporção de 0,5 g por litro de água deionizada, conforme relatado em literatura. A metodologia de manchamento foi adotada de acordo com procedimento proposto por Otuka (2022) e Fleck, Polesello e Leão (2025), consistindo na imersão das amostras na solução preparada, onde permaneceram por 24 horas. Posteriormente as amostras foram retiradas e submetidas à secagem em estufa a 40ºC, durante 72 horas. Destaca-se que tanto o período de imersão, quanto o de secagem ocorreram ao abrigo da luz e da radiação solar. Após o processo de manchamento, os CPs foram expostos, em triplicata, à luz

artificial, em câmara ultravioleta (UV), modelo BGD 276 com comprimento de onda de 365 nm, de modo a simular a exposição à radiação solar, e acelerar o processo de degradação do manchamento, promovendo perda de cor e brilho, além de processos de desintegração e oxidação das amostras. A câmara mantém-se em temperatura constante de 25ºC e, com auxílio do radiômetro, foi determinada a intensidade da radiação ultravioleta, correspondente a 8,89 mW/cm^2. A aferição da variação de cor foi efetuada com equipamento colorímetro ColorMeter Exact, em diferentes intervalos de tempo, sendo: prévio a inserção na câmara (0 h), 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 5 h, 6 h, 12 h, 24 h, 36 h, 48 h, 60 h e 72 h de exposição. As medições nesses intervalos foram realizadas em adaptação à metodologia adotada por Wang *et al.* (2022). Com o objetivo de assegurar a representatividade da superfície analisada, cada corpo de prova foi subdividido em nove quadrantes, sendo realizados cinco pontos de medição em cada quadrante, totalizando 45 pontos de mensuração por CP (Figura 2) em cada intervalo de tempo. Dessa forma, foram obtidas 1755 leituras por traço ao longo do ensaio.

Figura 2: Aferição de variação de cor



Fonte: Autores (2026).

A análise colorimétrica foi realizada com base nos princípios estabelecidos pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE), conforme descrito no relatório técnico ISO/CIE 11664-5 (2024), que define o espaço tridimensional das cores por meio de funções não lineares representadas pelas coordenadas x, y, z (sistema CIE L*a*b*); cada coordenada representa então um espaço de cor, caracterizado por L, a* e b*. O parâmetro L* se refere à luminosidade, variando em uma escala de 0 a 100 (0 corresponde ao preto e 100 ao branco); a* e b*, por sua vez, definem a cromaticidade das amostras, apresentando valores no intervalo de -127 e +127. Nesse contexto, a* representa a variação entre verde (valores negativos) e vermelho (valores positivos), enquanto b* expressa a variação entre azul (valores negativos) e amarelo (valores positivos). Visto que a percepção de cor pode variar entre observadores, emprega-se o parâmetro ΔE, que permite determinar a variação global de cor. Esse parâmetro é calculado por meio da expressão disposta na Equação 1.

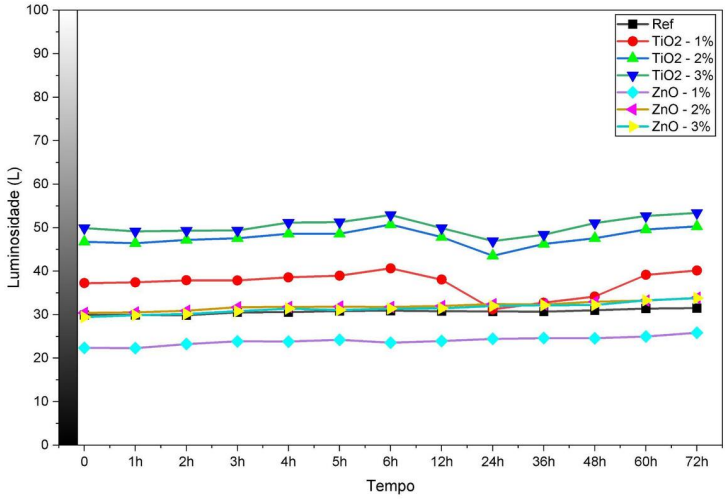
$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \qquad \text{(Equação 1)}$$

A partir desse cálculo, obtém-se um valor numérico que expressa o grau de diferença cromática entre as amostras, indicando o quanto essa variação é perceptível ao olho humano.

3. RESULTADOS

Conforme estabelecido na metodologia, inicia-se a análise com avaliação do parâmetro de luminosidade definido pelo sistema CIE L*a*b*. Na Figura 3, observa-se o comportamento dos corpos de prova ao longo do tempo, evidenciando um aumento gradual na luminosidade das amostras, o que indica a degradação progressiva do pigmento empregado, inclusive na amostra de referência. Entretanto, esse comportamento mostrou-se mais evidente nas formulações contendo fotocatalisadores, sendo particularmente mais pronunciado nas amostras com incorporação de TiO_2. Tal resultado sugere maior eficiência fotocatalítica desse material, quando comparado às demais composições avaliadas.

Figura 3: Gráfico de luminosidade das amostras ao longo do tempo de exposição



Fonte: Autores (2026).

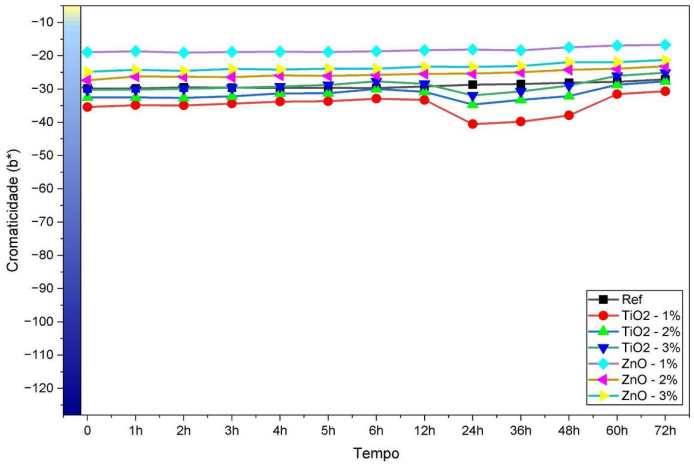
Embora a incorporação de TiO_2 tenha se mostrado promissora, apresentando comportamentos semelhantes entre si, independente do teor adicionado, observou-se redução da luminosidade no intervalo entre 6 e 24 horas de avaliação. Em contraste, a amostra contendo 1% de ZnO demonstrou resultados inferiores aos das demais amostras avaliadas, inclusive em relação à amostra de referência, evidenciando desempenho consideravelmente inferior. Por fim, embora se observe uma tendência de clareamento das amostras ao longo do tempo, destaca-se, conforme evidenciado na Figura 3, que a incorporação de fotocatalisadores contribui para mitigar, em certa medida, a redução inicial da luminosidade associada ao manchamento provocado pelo azul de metileno.

Autores como Reza, Kurny e Gulshan (2017) e Castro-Hoyos *et al.* (2022), por sua vez, apontam que a refletância inicial elevada da argamassa branca contribui para a sensibilidade da análise colorimétrica, facilitando na detecção de pequenas variações, mas que também pode prejudicar a absorção de energia do fotocatalisador e consequentemente reduzir a eficácia da oxirredução promovida pelo efeito fotocatalítico.

Em relação ao parâmetro b*, correspondente ao eixo azul-amarelo, visto que o pigmento escolhido para o presente estudo, foi o azul de metileno, as superfícies manchadas possuem valores negativos. Salienta-se que a tendência de degradação é demonstrada pela aproximação dos valores registrados pelo colorímetro para o valor 0, além do clareamento através do aumento no espectro L. Ao observar a Figura 4, nota-se que dentre as formulações contendo óxido de zinco, as amostras com incorporação de 2% e 3%, apresentaram maior variação cromática em relação a concentração de

1%. Já em relação ao conjunto de TiO_2, a mesma tendência de deslocamento em direção ao eixo 0 é observada no gráfico pelas concentrações possuindo 2% e 3% de dióxido de titânio, corroborando que concentrações mais altas favorecem o efeito fotocatalítico e a degradação do pigmento.

Figura 4: Gráfico da cromaticidade b* das amostras ao longo do tempo de exposição

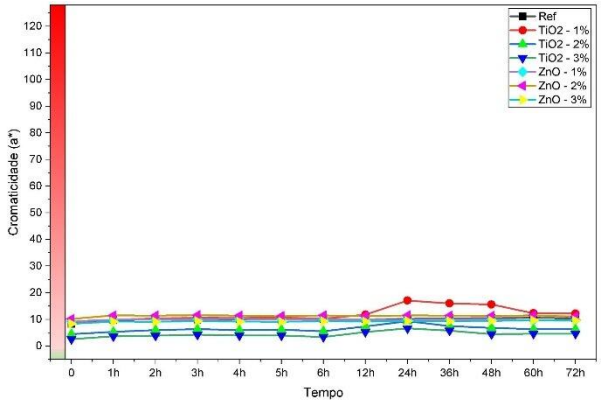


Fonte: Autores (2026).

Ainda, constata-se na Figura 4 que as amostras contendo ZnO apresentam, inicialmente, valores mais próximos de 0 quando comparadas às demais formulações, novamente indicando uma absorção inicial reduzida do pigmento. Nota-se também que os corpos de prova com incorporação de TiO_2 demonstram valores inferiores aos da amostra referência. Destaca-se, adicionalmente, que comportamento semelhante ao observado para parâmetro L nos corpos de prova contendo dióxido de titânio também foi identificado para o parâmetro b*, no qual se verifica alteração na tendência entre os tempos de avaliação de 6h e 12h.

Ao analisar a cromaticidade a*, correspondente ao eixo vermelho-verde (Figura 5), é possível observar que as amostras apresentaram a tendência oposta ao visto no eixo azul-amarelo, onde todas as composições tiveram um valor de a* final superior ao a* inicial. Para autores como Ramli *et al*. (2014), Jiménez (2017) e Dong *et al*. (2023) esse sutil aumento da coloração vermelha das amostras está intrinsecamente relacionada com a oxidação do azul de metileno e a degradação parcial de corantes majoritariamente azuis, gerando um subproduto com consequente mudança gradual de cor para outros tons do espectro.

Figura 5: Gráfico da cromaticidade a* das amostras ao longo do tempo de exposição



Fonte: Autores (2026).

A fim de validar com maior precisão os resultados obtidos previamente, foi realizada uma análise estatística através do ANOVA (Tabela 1) para determinar o grau de significância entre as diferentes composições, para que seja possível avaliar a real eficácia da incorporação do óxido de zinco ou do dióxido de titânio para a autolimpeza das argamassas.

Tabela 1: Análise de significância através do ANOVA para os parâmetros do CIELAB

Parâmetro CIELAB	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Valor F	Valor P	F Crítico	Efeito Significativo
L	228,1024	84	2,7155	444,7174	2.10^{-61}	2,2085	✓
a*	117,1667	84	1,3948	68,4867	$2,94.10^{-30}$	2,2085	✓
b*	235,2170	84	2,8002	140,2491	$1,34.10^{-41}$	2,2086	✓

Fonte: Autores (2026).

Devido ao fato de todos os parâmetros, sendo luminosidade e cromaticidade a* e b*, terem acusado um valor-P inferior a 0,05 e um valor-F superior ao F Crítico, foi necessária a realização de um teste de post-hoc de Tukey (Tabela 2) para determinação da interação entre os diferentes conjuntos estudados.

Tabela 2: Teste de Tukey para determinação das interações das amostras

Combinação	Luminosidade		a*		b*	
	Módulo da Média	Diferença Significativa	Módulo da Média	Diferença Significativa	Módulo da Média	Diferença Significativa
	Dms = 1,84		Dms = 1,32		Dms = 1,87	
Referência - TiO_2 1%	6,57	✓	2,05	✓	5,88	✓
Referência - TiO_2 2%	17,10	✓	3,57	✓	2,51	✓
Referência - TiO_2 3%	19,76	✓	5,58	✓	0,02	×
Referência - ZnO 1%	6,69	✓	0,09	×	10,73	✓
Referência - ZnO 2%	1,31	×	1,30	×	3,56	✓
Referência - ZnO 3%	0,81	×	0,74	×	5,61	✓
TiO_2 1% - ZnO 1%	13,26	✓	2,14	✓	16,61	✓
TiO_2 1% - ZnO 2%	5,26	✓	0,75	×	9,44	✓
TiO_2 1% - ZnO 3%	5,76	✓	2,79	✓	11,50	✓

TiO_2 2% - ZnO 1%	23,79	✓	3,48	✓	13,24	✓
TiO_2 2% - ZnO 2%	15,79	✓	4,87	✓	6,07	✓
TiO_2 2% - ZnO 3%	16,29	✓	2,83	✓	8,12	✓
TiO_2 3% - ZnO 1%	26,44	✓	5,50	✓	10,71	✓
TiO_2 3% - ZnO 2%	18,45	✓	6,89	✓	3,54	✓
TiO_2 3% - ZnO 3%	18,95	✓	4,84	✓	5,60	✓

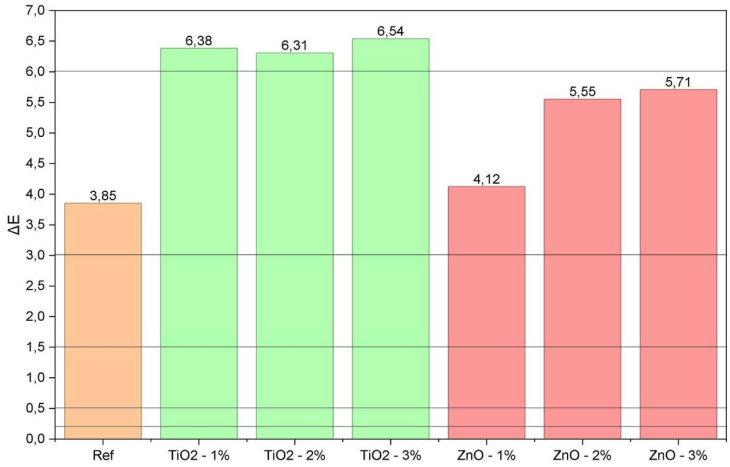
Fonte: Autores (2026).

O teste de Tukey evidenciou diferenças estatisticamente significativas para o parâmetro de luminosidade considerando-se DMS igual a 1,84. As formulações contendo dióxido de titânio apresentaram diferenças expressivas em relação à amostra de referência, sendo que a incorporação de 2% do fotocatalisador resultou em valor de 17,10, enquanto a formulação com 3% de TiO_2 registrou 19,76. No entanto, as maiores discrepâncias foram observadas nas comparações entre formulações contendo os fotocatalisadores. A comparação entre a formulação TiO_2 - 3% e ZnO-1%, apresentou diferença de 26,44, enquanto a comparação entre TiO_2 - 2% e ZnO - 1% resultou em divergência de 23,79. De modo geral, os resultados indicam que maiores teores de TiO_2 intensificam a variação de luminosidade da superfície, sugerindo maior influência desse fotocatalisador sobre o parâmetro analisado.

Para a coordenada a*, considerando DMS igual a 1,32, observa-se diferença significativa na maioria das combinações que contêm TiO_2. A formulação TiO_2 - 3% apresentou módulo de diferença igual a 5,58 em relação à referência. Entre as combinações, TiO_2 - 3% com ZnO - 2% apresentou o maior valor, igual a 6,89, seguido de TiO_2 - 3% com ZnO 1%, com 5,50. As formulações contendo apenas ZnO apresentaram valores inferiores ao limite de significância. ZnO 1% apresentou 0,09, ZnO 2% apresentou 1,30 e ZnO 3% apresentou 0,74. Esse resultado indica menor influência do ZnO isolado na variação da cromaticidade no eixo verde-vermelho, e logo uma maior reação de oxidação do corante pelo TiO_2.

Já na coordenada b*, considerando DMS igual a 1,87, verificam-se diferenças significativas na maioria das comparações. A exceção ocorre entre referência e TiO_2 - 3%, que apresentou módulo igual a 0,02. As maiores variações ocorreram nas combinações entre TiO_2 e ZnO. TiO_2 - 1% com ZnO - 1% apresentou módulo igual a 16,61. TiO_2 - 2% com ZnO - 1% apresentou 13,24. Os resultados indicam que a interação entre os dois semicondutores intensifica a alteração cromática no eixo azul-amarelo, associada à degradação do azul de metileno presente na superfície das argamassas. Esses resultados são corroborados pela Figura 5, que apresenta os valores obtidos de ΔE, conforme normativa CIE 11664-5 (ISO, 2024).

Figura 5: Valores de ΔE obtidos para as diferentes composições estudadas



Fonte: Autores (2026).

Conforme apresentado na Tabela 2 e na Figura 5, as formulações contendo dióxido de titânio apresentaram maior percepção de alteração cromática após 72 horas de exposição à luz UV. Com o objetivo de classificar as variações observadas por meio do cálculo do ΔE, adotou-se como referência o estudo de Aguero (2017), fundamentado na norma DIN 6197 (2007), a qual é empregada para avaliação de pequenas variações de cor em superfícies, e amplamente utilizada na indústria para fins de controle de qualidade e definições de tolerância cromática. Com base nos critérios estabelecidos no trabalho de Aguero (2017), as variações de cor observadas nas formulações contendo TiO2 são classificadas como diferenças “muito grandes” entre a primeira e a última medição. Para as demais formulações, por sua vez, a variação cromática enquadra-se como “facilmente distinguíveis”.

5. CONCLUSÃO

Com base nos objetivos estabelecidos para o presente trabalho, conclui-se que a metodologia empregada mostrou-se adequada para a avaliação da autolimpeza acelerada de superfícies da argamassa, uma vez que forneceu dados necessários para a realização de uma análise consistente do fenômeno investigado. Ademais, constatou-se que, independentemente do fotocatalisador utilizado, seja o óxido de zinco ou o dióxido de titânio, a presença de ambos promoveu maior degradação do corante azul de metileno, quando comparados ao traço referência. Embora os fotocatalisadores tenham sido incorporados juntamente aos materiais secos durante o preparo da argamassa industrializada, e não apenas como camada superficial nos corpos de provas moldados, verificou-se que maiores concentrações de aditivo mineral resultam em uma maior degradação do corante.

Ao analisar separadamente as coordenadas do sistema CIE L*a*b*, observou-se que o dióxido de titânio apresentou variações mais significativas no parâmetro de luminosidade, enquanto o óxido de zinco demonstrou maior variação de cromaticidade na coordenada b*. Em relação à coordenada a*, as formulações contendo TiO_2 apresentaram maior grau de oxidação do corante. De modo geral, verificou-se que a incorporação de fotocatalisadores na argamassa contribui para reduzir a absorção do pigmento utilizado na avaliação da degradação.

Por fim, ao considerar o parâmetro ΔE, responsável por quantificar a variação perceptível de cor, destacam-se os resultados obtidos nas formulações contendo TiO_2, que apresentam valores mais expressivos, indicando maior potencial fotocatalítico em comparação às demais composições avaliadas.

REFERÊNCIAS

AGUERO, Natasha F.. **Estudos de processos de degradação de pigmentos de coloração azul e amarela**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura para realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASCHEBROCK, Giovanna C.. **Avaliação da autolimpeza de argamassa branca com TiO_2 e com hidrofugante**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

BEHLING, Valéria Santos *et al.*. Revisão de literatura sob a perspectiva da análise sistemática de argamassas autolimpantes. **Revista Delos**, v. 18, n. 69, p. e5795-e5795, 2025.

BERSCH, Jéssica D.. **Atividade fotocatalítica e autolimpeza de argamassas pigmentadas contendo dióxido de titânio (TiO_2)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

BERSCH, Jéssica D.; MASUERO, Ângela B.; DAL MOLIN, Denise C. C.. Photocatalytic coloured rendering mortars: effect of TiO_2 and iron oxide pigments on the physical, mechanical, hygric, and photoactive behaviour. **Materials and Structures**, v. 56, n.8, p. 146, 2023.

BRANCO, Caroline M. C. *et al.*. Comparação de degradação de fachada com revestimento de argamassa no campus UFSM-CS. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 20, p. 1-19, 2024.

CASAGRANDE, Cézar A.. **Estudo da incorporação de partículas de titânio em argamassas fotocatalíticas**. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

CASARIN, Roberta P.. **Análise da eficiência da ação autolimpante em diferentes tipos de acabamentos superficiais de argamassas com adição de TiO_2**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

CASARIN, Roberta P. *et al.*. Comparação da eficiência da escovação na rápida mudança de cor em parede externa pela aplicação de disperção de nano-TiO_2 e de solução NaClO. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC XIX Edição**. Canela: 2022. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2047/1955. Acesso em: 13 mar. 2026.

CASTRO-HOYOS, Angélica M.; ROJAS MANZANO, Manuel A.; MAURY-RAMÍREZ, Aníbal. Desafios e Oportunidades do Uso da Fotocatálise com Dióxido de Titânio em Materiais à Base de Cimento. **Coatings**, v. 12, n. 968, p. 1-21, 2022.

DE MARIA, Vitor P. K. *et al.*. Advances in ZnO nanoparticles in building material: Antimicrobial and photocatalytic applications–Systematic literature review. **Construction and Building Materials**, v. 417, p. 135337, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135337. Acesso em: 13 mar. 2026.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 6174:2007**. Colorimetric evaluation of colour

differences. Berlin: DIN, 2007

DIAMANTI, Maria Vittoria *et al.*. Photocatalytic and self-cleaning activity of colored mortars containing TiO2. **Construction and Building Materials**, v. 46, p. 167-174, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.038. Acesso em: 13 mar. 2026.

DONG, Yutao et al. Substantial lifetime enhancement for Si-based photoanodes enabled by amorphous TiO2 coating with improved stoichiometry. **Nature Communications**, v. 14, n. 1, p. 1865, 2023.

FARGHALY, Ahmed *et al.*. Synergistic photocatalytic degradation of methylene blue using TiO2 composites with activated carbon and reduced graphene oxide: a kinetic and mechanistic study. **Applied Water Science**, v. 14, n. 10, p. 228, 2024.

FLECK, William, J. K.; POLESELLO, Eduardo; LEÃO, Felipe A..Efeito do uso de fotocatalisador TiO_2 sobre as propriedades da argamassa estabilizada. **Ambiente Construído**, V. 25, p. e140806, 2025).

HAMIDI, Fatemeh; ASLANI; Farhad. TiO_2-based photocatalytic cementitious composites: materials, properties, influential parameters, and assessment techniques. **Nanomaterials**, v. 9, n. 10, p. 1444, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2079-4991/9/10/1444. Acesso em: 13 mar. 2026.

HU, Hongyin *et al.*. Experimental Study on Cement-Based Materials Modified by Nano-Zinc Oxide and Nano-Zirconia Based on Response Surface Optimization Design. **Materials**, v. 18, n. 7, p. 1515, 2025.

International Organization for Standardization (ISO). **ISO/CIE 11664-5**: Colorimetry - part 5: CIE 1976 l*u*v* colour space and u', v' uniform chromaticity scale diagram. Genebra, 2024.

JĘDRZEJCZAK, Patryk *et al.*. Physicomechanical and antimicrobial characteristics of cement composites with selected nano-sized oxides and binary oxide systems. **Materials**, v. 15, n. 2, p. 661, 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/1996-1944/15/2/661. Acesso em: 13 mar. 2026.

JIMÉNEZ, E. M. **Photocatalysis in construction : Methodologies for determination of active species**. Universidad Autónoma de Madrid, 2017.

KALAYCIOĞLU, Zeynep *et al.*. Efficient photocatalytic degradation of methylene blue dye from aqueous solution with cerium oxide nanoparticles and graphene oxide-doped polyacrylamide. **ACS omeg**a, v. 8, n. 14, p. 13004-13015, 2023.

MOCIOIU, Ana-Maria *et al.*. Self-cleaning and antibacterial properties of the cement mortar with ZnO/hydroxyapatite powders. **Inorganics**, v. 10, n. 12, p. 241, 2022.Disponível em: https://www.mdpi.com/2304-6740/10/12/241

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivos do desenvolvimento sustentável no Brasil**. [S.I], 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6. Acesso em: 13 mar. 2026.

OTUKA, Pedro H.. **Argamassa autolimpante por meio da aspersão superficial de dióxido de titânio**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2022.

PIETROSKI, Nicolle P. *et al.*. Avaliação da eficiência autolimpante de fachadas de edificações

históricas após dois anos da aplicação de dispersão de dióxido de titânio (TiO_2). **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, v. 13, p. 665-673, 2019.

POURALI, S. *et al.*. In situ synthesis of ZnO/g-C3N4 based composites for photodegradation of methylene blue under visible light. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 462, 2025. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41598-024-84645-0. Acesso em: 13 mar. 2026.

RAHA, Sauvik; AHMARUZZAMAN, Md. ZnO nanostructured materials and their potential applications: progress, challenges and perspectives. **Nanoscale advances**, v. 4, n. 8, p. 1868-1925, 2022. Disponível em: https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/na/d1na00880c. Acesso em: 13 mar. 2026.

RAMLI, Zatil Amali et al. Photocatalytic degradation of methylene blue under UV light irradiation on prepared carbonaceous TiO2. **The scientific world journal**, v. 2014, n. 1, p. 415136, 2014.

REZA, Khan M.; KURNY, A. S. W.; GULSHAN, Fahmida. Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO2: a review. **Applied Water Science**, v. 7, n. 4, p. 1569-1578, 2017.

RIBEIRO, Daniel V. *et al.*. Performance and radiological implications of using residue from TiO_2 production as a component of coating mortars. **Construction and Building Materials**, v. 306, p. 124885, 2021.

SANTOS, Samara M. S.; LAURSEN, Anderson. Uma abordagem preliminar das manifestações patológicas mais comuns em construções residenciais. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. [S.I.], v. 12, n. 11, p. 137-165, nov. 2022. Disponível em: https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/2022/11/abordagem-preliminar.pdf. Acesso em: Acesso em: 13 mar. 2026.S

SHAHENN, Mohamed N.F. *et al.*. Evaluation of physical, chemical, and microbiological characteristics of waste stabilization ponds. **Environmental Sciences Europe**, [S.I.], vol. 36, 2024. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1186/s12302-024-00965-y. Acesso em: 12 mar. 2026.

SILVA, Rosilene. Removal of methylene blue from aqueous solution through photocatalysis in the presence of TiO_2 nanoparticles under natural sunlight. **Research, Society and Development**, [S.I], v. 11, n. 6, 2022.

SILVA, Amanda M.; FIORITI, César F.. Mapeamento de manifestações patológicas em revestimentos argamassados externos de edifícios de múltiplos pavimentos. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 15, n. 2, p. 192-205, maio 2020. Disponível em: https://revistas.ufg.br/reec/article/download/52140/34858. Acesso em: 13 mar. 2026.

TREVISTO, João P. M.. **Avaliação da eficiência de autolimpeza em argamassas e pastas contendo TiO_2 expostas ao microclima urbano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

WANG, Z. *et al.*. Variation of self-cleaning performance of nano-TiO_2 modified mortar caused by carbonation: from hydrates to carbonates. **Cement and Concrete Reaserch**, v. 158, 2022.

CAPÍTULO 43 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/f2ryzx24
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/eh8dvn09

INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO A/C NA CARBONATAÇÃO DO CIMENTO SUPERSULFATADO AVALIADA POR MICRODUREZA

Jeovana Thalheimer[1]*, Rafael Antonio Colla[1]; Julia Kich de Ré[2]; Vitor Baldin[3]; Maria Nalu Verona Gomes[3] e Caroline Angulski da Luz[4]

*Autor de contato: jeovanathalheimer@alunos.utfpr.edu.br[1]

[1] Graduandos de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil
[2] Mestre em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil
[3] Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil
[4] Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil

RESUMO

O cimento supersulfatado (CSS) apresenta-se como um ligante de menor impacto ambiental em comparação ao cimento Portland devido ao seu reduzido teor de clínquer. Constituído predominantemente por escória de alto-forno (70-90%), sulfato de cálcio (10-20%) e ativador alcalino (até 5%), apresenta matriz cimentícia formada essencialmente por C-S-H e etringita. No entanto, a ausência de portlandita, torna-o mais suscetível à carbonatação natural, processo que reduz o pH do concreto e pode levar à despassivação da armadura. Diante disso, esse trabalho avaliou a influência da relação a/c (água/cimento) no desempenho de pastas feitas com CSS e submetidos à carbonatação natural. Foram adotadas relações a/c de 0,4 e 0,5 e idades de análise aos 0, 4, 12 e 28 semanas, por meio de ensaios de microdureza Vickers. Os resultados evidenciaram que a carbonatação exerce influência negativa sobre a microdureza, enquanto a diminuição da relação a/c contribui para mitigar o avanço da carbonatação no CSS, apresentando comportamento semelhante ao observado no cimento Portland.
Palavras-chave: carbonatação; relação a/c; cimento supersulfatado; microdureza Vickers.

ABSTRACT

Supersulfated cement (SSC) presents itself as a binder with less environmental impact compared to Portland cement due to its reduced clinker content. Composed predominantly of blast furnace slag (70-90%), calcium sulfate (10-20%), and alkaline activator (up to 5%), it has a cementitious matrix formed mainly by C-S-H and ettringite. However, the absence of portlandite makes it more susceptible to natural carbonation, a process that reduces the pH of the concrete and can lead to the depassivation of the reinforcement. Therefore, this work evaluated the influence of the w/c (water/cement) ratio on the performance of mixes made with SSC and subjected to natural carbonation. W/c ratios of 0.4 and 0.5 were adopted, and analysis ages were 0, 4, 12, and 28 weeks, using Vickers microhardness tests. The results showed that carbonation has a negative influence on microhardness, while decreasing the water/cement ratio helps to mitigate the progression of carbonation in CSS, exhibiting behavior similar to that observed in Portland cement.
Keywords: carbonation; w/c ratio; supersulfated cement.

1. INTRODUÇÃO

A indústria do cimento é uma das maiores responsáveis pela emissão de gases do efeito estufa (GEE), respondendo por cerca de 7% das emissões de GEE emitidos pelo homem (SNIC, 2024). A alta emissão desses gases têm corroborado com o aquecimento global e mudanças climáticas, como inundações, secas, queimadas e furacões, ameaçando a saúde humana e ambiental (PNUMA, 2022). Diante do exposto, vêm sendo estudado a aplicação de cimentos que possuam baixo impacto ambiental.

O cimento supersulfatado (CSS) se apresenta como uma alternativa sustentável ao cimento Portland (CP), emitindo cerca de 90% de CO_2 a menos. Esse cimento é composto por 70-90% de escória de alto-forno, 10-20% de uma fonte de sulfato de cálcio e uma quantidade inferior a 5% de ativador alcalino (Gijbels *et al*., 2020). Como propriedades, o CSS oferece boa resistência ao ataque por sulfatos, baixo calor de hidratação e possui expectativas de aplicação em obras marítimas, rodoviárias e hidráulicas (Gong *et al*., 2026).

Os principais produtos de hidratação do CSS são a etringita (AFt) e C-S-H, semelhantes aos produtos formados pelo CP (Liao *et al*., 2023). O CSS possui uma reserva alcalina menor que o CP, pois a portlandita ($Ca(OH)_2$) se apresenta em menores quantidades, tornando esse cimento suscetível à carbonatação (Kich de Ré, 2025). Enquanto no CP o CO_2, na presença de umidade, reage com a etringita (AFt), silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e portlandita ($Ca(OH)_2$), no CSS há pouca presença de portlandita, fazendo com que as suas principais fases hidratadas se tornem alvos da carbonatação (Cadore; Angulski da Luz; Farias de Medeiros, 2019)

Na literatura, há estudos recentes que buscaram melhorar a resistência à carbonatação do CSS. Kich de Ré (2025) analisou a influência do ativador alcalino (KOH e CPV) na carbonatação em concretos com CSS feitos com escória básica e importada e teve como resultado, melhores índices de carbonatação com o ativador alcalino CPV. Chen *et al.* (2025) também estudaram uma forma de melhorar a resistência à carbonatação do CSS, utilizando materiais siliciosos reativos (nano-sílica e sílica /fume) e obtiveram aumento na resistência à carbonatação com os dois materiais.

Por outro lado, a literatura carece de estudos sobre como a microdureza se comporta em pastas ou concretos expostos à carbonatação. Nesse contexto, Jia *et al.* (2020) observaram que pastas de cimento Portland expostas ao CO_2 tiveram aumento na microdureza superficial devido à formação de $CaCO_3$. No entanto, a resistência à compressão teve uma piora justificada pela influência negativa da carbonatação na hidratação do CP, concluindo que os produtos de hidratação no CP possuem um peso maior na resistência total do que o efeito da carbonatação superficial.

Xuan, Zhan e Poon (2016) também utilizaram o ensaio de microdureza como ferramenta de análise em cimento Portland, observando aumento da microdureza, resistência à compressão e flexão em concretos feitos com agregado reciclado carbonatado. Assim, embora ainda pouco explorada, a microdureza tem sido aplicada em pastas e concretos feitos com CP. Em contrapartida para o cimento supersulfatado (CSS), os estudos são ainda mais escassos, sendo identificada na literatura apenas os trabalhos de Thalheimer *et al*. (2025) e Colla *et al*. (2025), no qual foi analisado a influência das relações a/c e condições de cura na carbonatação natural de concretos e pastas feitos com CSS até no máximo 12 semanas de exposição ao CO_2. Dessa forma, este estudo possui como objetivo utilizar a análise da microdureza em pastas de cimento supersulfatado (CSS) expostas à

carbonatação natural por 0, 4, 12 e 28 semanas, colaborando com os outros estudos já existentes para a melhoria da resistência à carbonatação do CSS.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O cimento supersulfatado (CSS) foi produzido com escória granulada de alto-forno previamente triturada e peneirada em peneira com abertura de 150 μm, anidrita ($CaSO_4$) como fonte de sulfato de cálcio e cimento Portland de alta resistência inicial, CP V – ARI da marca Supremo como ativador alcalino. Para a formação da anidrita, o gesso (sulfato hemidratado) foi calcinado em um forno do tipo mufla a 650 °C, durante 1 hora com taxa de aquecimento de 30 °C/min. A adoção dessa forma anidra justifica-se por seu comportamento intermediário quanto ao tempo de pega, em comparação às formas hidratada ($CaSO_4.2H_2O$) e hemi-hidratada ($CaSO_4.0{,}5H_2O$) (Kich de Ré, 2025).

A composição química da escória e fonte de sulfato de cálcio, analisadas por fluorescência de raios X (FRX), está apresentada na tabela 1. O FRX foi realizado no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR), da UFPR - Campus Curitiba utilizando espectrômetro PANalytical, modelo Axios Max, com software SuperQ 5.3. As amostras passaram por secagem, quarteamento e moagem, para posterior confecção de pastilhas prensadas com adição de cera orgânica, seguidas de varredura química. A determinação da perda ao fogo (P.F.) foi realizada a 1000 ºC, durante duas horas. Após a análise da composição química da escória, seguindo a classificação delineada na norma EN 15743:2010, verificou-se que a soma de $CaO+MgO+SiO_2$ ultrapassa 66,7, com a razão de $CaO+MgO/SiO_2$ superior a 1. Consequentemente, esta escória é categorizada como básica.

A determinação da massa específica e da superfície específica da escória e do sulfato de cálcio foi realizada de acordo com os procedimentos descritos nas normas NBR 16605 (ABNT, 2017) e NBR 16372 (ABNT, 2015), respectivamente.

Tabela 1 – Composição físico-química dos materiais utilizados

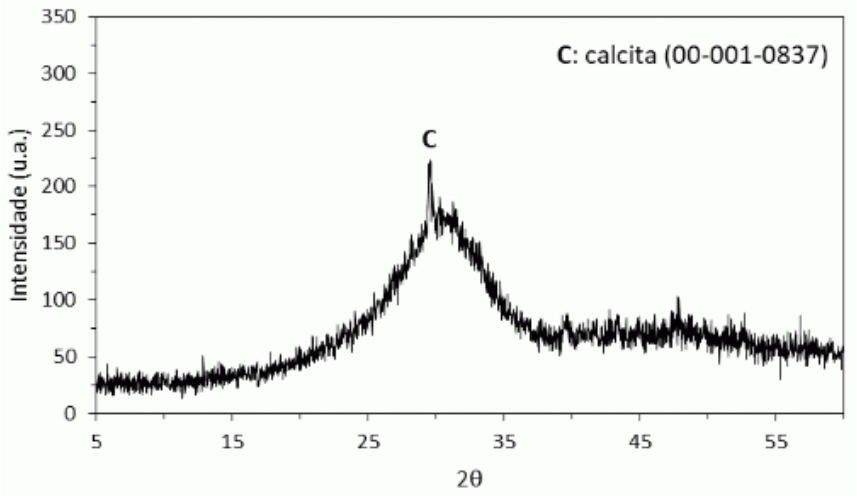
Composição química	Teores (%)			EN 15473:2010
	Sulfato de cálcio	Ativador alcalino	Escória	
CaO	38,50	38,50	46,80	-
SiO_2	0,30	18,3	35,0	-
AL_2O_3	0,10	4,30	7,60	-
MgO	-	5,80	5,60	-
MnO	-	-	1,80	-
SO_3	54,10	2,40	1,0	-
TiO_2	-	-	0,60	-
F_2O_3	-	3,00	0,60	-

K_2O	-	0,89	0,50	-
SrO	0,20	-	0,20	-
Na_2O	-	0,16	0,10	-
CO_2	-	4,10	-	-
BaO	-		0,10	-
ZrO_2	-		-	-
Y_2O_3	-		<0,1	-
P_2O_5	-		<0,1	-
Resíduo insolúvel	-	2,50	-	-
Perda ao fogo	6,75	5,40	-0,47	-
$CaO + MgO + SiO_2$	-	-	87,4	≥ 66,7
$(CaO + MgO) / SiO_2$	-	-	1,60	≥ 1,0
Massa específica (g/cm^3)	2,66	3,12	2,80	-
Superfície de Blaine (cm^2/g)	5655,0	4911,0	3657,0	-

Fonte: os autores.

A identificação das fases cristalinas da escória foi realizada por meio de difração de raios X (DRX), utilizando difratômetro MiniFlex 600, com radiação CuKα e tensão de 40 kV. A varredura foi conduzida no intervalo de 5° a 60° (2θ), com passo de 0,02° e velocidade de 3°/min. O difratograma obtido indicou predominância de material amorfo, evidenciada pela ausência de picos cristalinos.

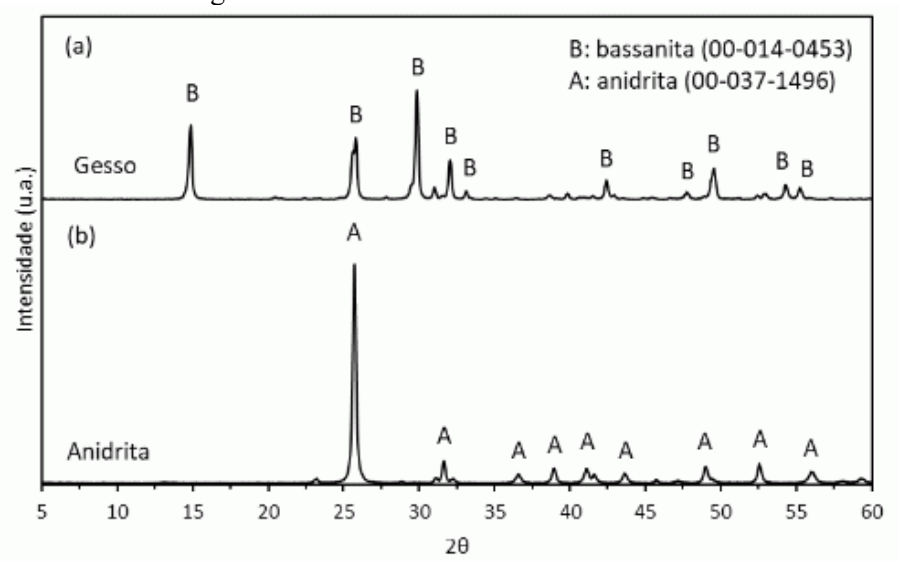
Figura 1 – DRX da escória de alto-forno



Fonte: os autores.

A figura 2 ilustra a comprovação da transformação do material hemi-hidratado para a sua forma anidra através do teste de DRX.

Figura 2 – DRX da fonte de sulfato de cálcio



Fonte: os autores.

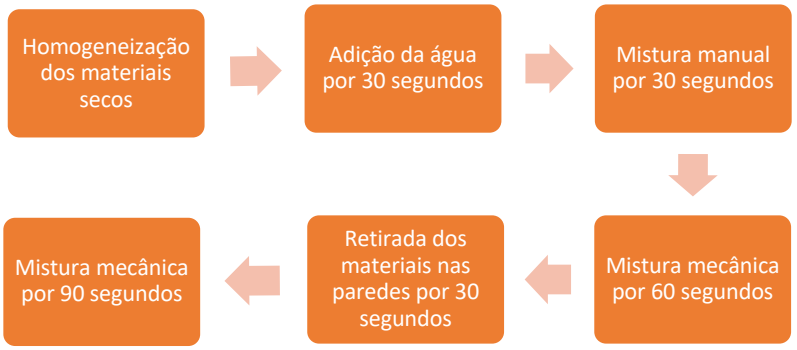
2.2 Métodos

Para a produção do cimento supersulfatado (CSS), foi utilizado escória de alto-forno, sulfato de cálcio e ativador alcalino seguindo a composição adotada por Kich de Ré (2025), equivalente à 84% de escória de alto-forno, 15% de anidrita e 1% de ativador alcalino. Para a moldagem das pastas e dos concretos, foi adotado relação a/c de 0,4 e 0,5.

2.2.1 Moldagem das pastas

As pastas foram moldadas com o propósito de analisar a microdureza após 0, 4, 12 e 28 semanas de exposição à carbonatação. O procedimento para a mistura das pastas foi o mesmo realizado por Kich de Ré (2025), descrito na figura 3.

Figura 3 – Procedimento de mistura das pastas



Fonte: os autores.

Após o preparo, as pastas foram colocadas em moldes de 3x3x3cm. Os corpos de prova foram vedados com filme plástico e mantidos em câmara úmida sob temperatura controlada de 23°C. A desmoldagem ocorreu após cinco dias. Na sequência, as amostras foram transferidas para cura em

solução saturada de hidróxido de cálcio, na concentração de 3 g/L, onde permaneceram imersas até completarem 28 dias de idade.

2.2.2 Exposição à carbonatação natural

Após o período de cura de 28 dias, os corpos de prova foram submetidos à carbonatação natural por 4, 12 e 28 semanas, em ambiente laboratorial. A exposição ocorreu em sala climatizada, com temperatura ajustada para 23 °C, podendo ocorrer pequenas variações em função da circulação de pessoas no local.

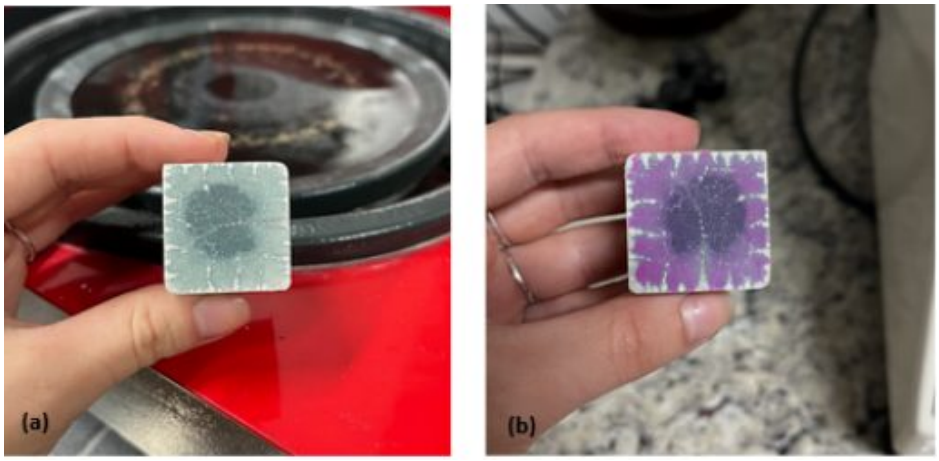
Para as amostras de pasta, foi necessário realizar a proteção parcial das superfícies, a fim de assegurar a existência de regiões não carbonatadas, especialmente nas amostras com 12 e 28 semanas de exposição, permitindo a comparação das medições de microdureza Vickers. Assim, duas faces opostas foram vedadas com placas de vidro, fixadas com silicone, de modo a impedir a penetração de CO_2 nessas áreas e controlar a progressão da carbonatação.

2.2.3 Microdureza Vickers

A microdureza Vickers foi empregada na avaliação das pastas de cimento aos 0, 4, 12 e 28 semanas de exposição à carbonatação. O ensaio baseia-se na aplicação de carga por meio de penetrador piramidal de diamante sobre a superfície da amostra, sendo a dureza (HV) determinada pela razão entre a força aplicada e a área da impressão gerada. As medições foram realizadas em microdurômetro Shimadzu, modelo TH710, no Laboratório de Mecânica da UTFPR, campus Pato Branco.

Para assegurar a confiabilidade dos resultados, as amostras passaram por preparação superficial prévia, incluindo lixamento com lixa de granulometria 1200 e uso de solução de alumina como abrasivo, até ser possível distinguir as regiões carbonatadas (área esbranquiçada) e não carbonatadas (área azulada) (figura 4-a). Para confirmação das áreas, realizou-se a aspersão de solução de fenolftaleína, sendo a região com coloração roxa indicativa da área não carbonatada (figura 4-b). Em seguida, realizou-se o polimento em politriz, utilizando álcool como lubrificante.

Figura 4 – Corpo de prova para o ensaio de microdureza (a) após o lixamento, (b) após a aspersão de fenolftaleína



Fonte: os autores.

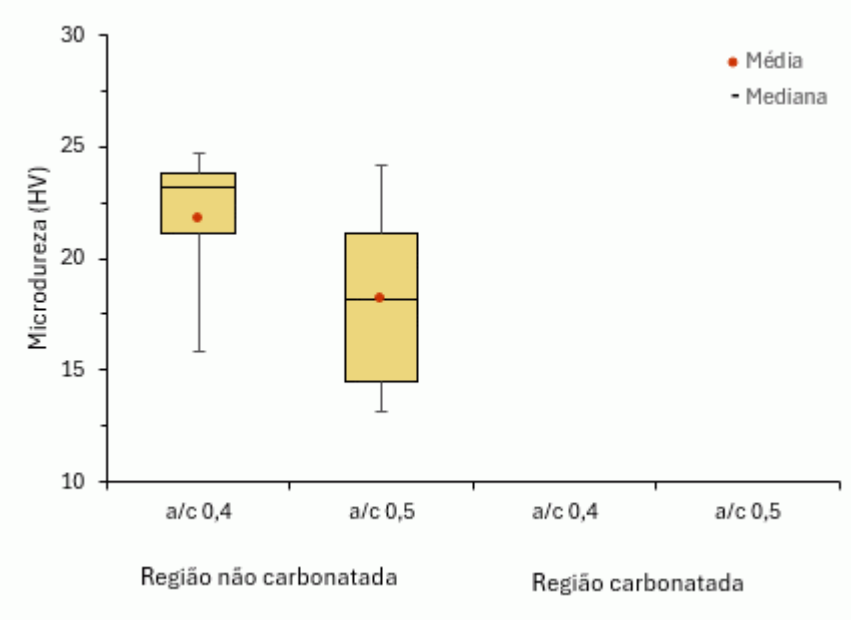
Após a etapa de preparação superficial, as amostras foram submetidas ao ensaio de microdureza com aplicação de carga de 2,94 N. As medições foram realizadas tanto na região carbonatada

quanto na região não carbonatada. O procedimento teve como finalidade analisar as alterações no comportamento mecânico das pastas em decorrência do avanço da carbonatação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de microdureza Vickers estão apresentados na figura 5, 6, 7 e 8.

Figura 5 – Microdureza Vickers nas pastas de relação a/c 0,5 e 0,4 com 0 semanas de carbonatação



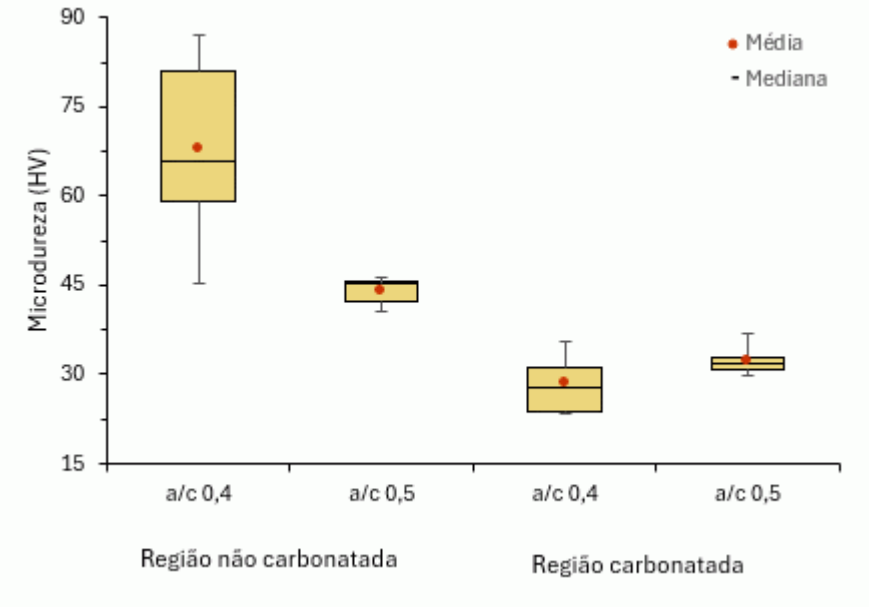
Fonte: os autores.

A figura 5 apresenta os resultados de microdureza Vickers das pastas de CSS obtidos com 0 semanas de exposição a carbonatação, portanto, não há resultados de microdureza na região carbonatada. Nota-se que a pasta feita com a relação a/c 0,4 apresentou maiores resultados em comparação com a pasta realizada com relação a/c 0,5. Esse resultado, se assemelhou ao encontrado por Vieira (2010), onde foi concluído que quanto maior a relação água/cimento (a/c), menor a microdureza média, devido a maior porosidade na matriz cimentícia.

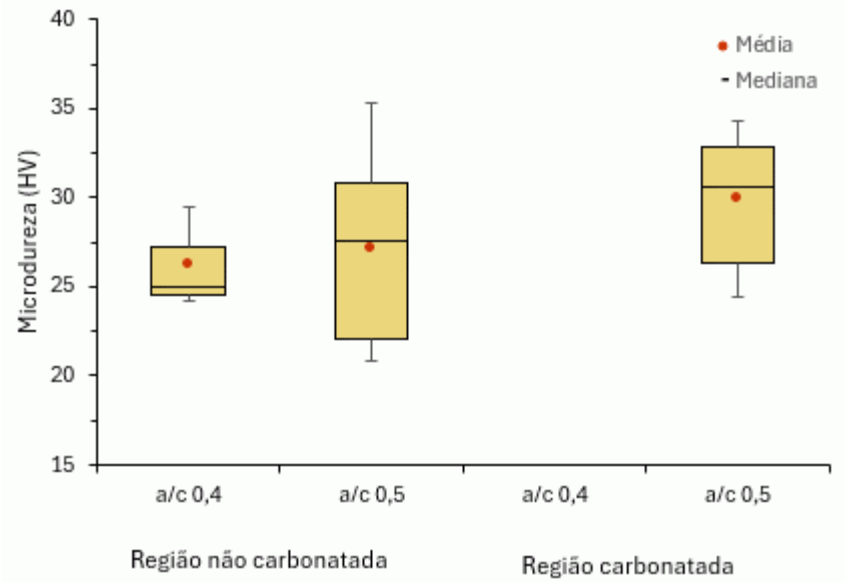
Figura 6 – Microdureza Vickers nas pastas de relação a/c 0,5 e 0,4 com 4 semanas de carbonatação
Fonte: os autores.

Após 4 semanas de exposição à carbonatação (figura 6), a microdureza Vickers aumentou em comparação com as pastas com 0 semanas de exposição. Na região carbonatada, a pasta com relação a/c 0,5 atingiu média superior à região não carbonatada, resultado semelhante ao que Vecchia (2009) observou, onde as pastas de cimento Portland submetidas a CO_2 supercrítico, ocorre inicialmente um aumento da microdureza, seguido por uma redução decorrente da bicarbonatação, que gera produtos porosos e amorfos. Por sua vez, na região não carbonatada a pasta com relação a/c 0,5 apresentou valores maiores que a pasta com relação a/c 0,4, embora houve maior dispersão de dados. É importante ressaltar que, com 4 semanas de exposição ao CO_2, a pasta com menor relação a/c não havia carbonatado, evidenciando a sua maior resistência a penetração de CO_2.

Figura 7 – Microdureza Vickers nas pastas de relação a/c 0,5 e 0,4 com 12 semanas de carbonatação

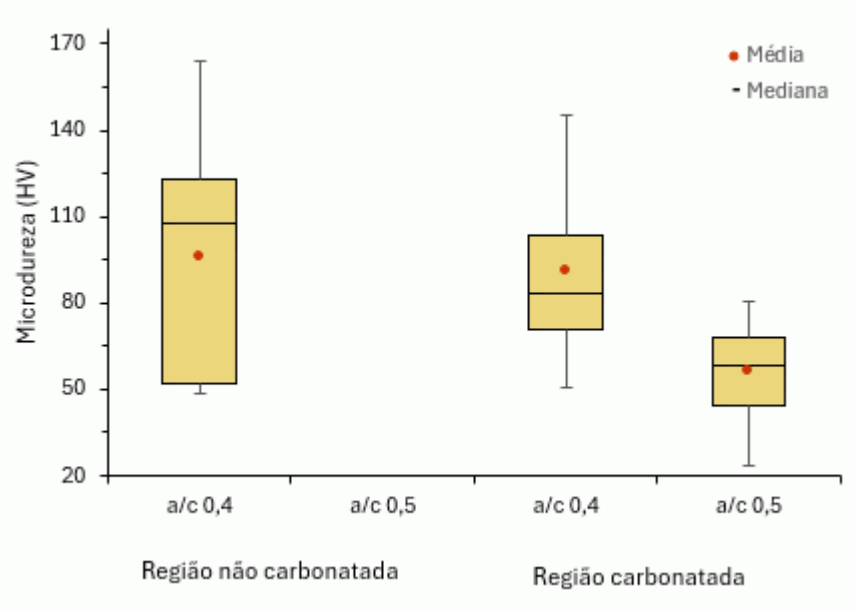


Fonte: os autores.



Com 12 semanas de carbonatação (figura 7), na região carbonatada a pasta com relação a/c 0,5 não teve aumento de microdureza em comparação com 4 semanas. Por outro lado, a pasta com relação a/c 0,4 já havia apresentado sinais de carbonatação, com valores de microdureza inferiores na região carbonatada. Na região não carbonatada, observou-se uma inversão em relação ao comportamento de 4 semanas, haja vista que, a menor relação a/c apresentou os maiores valores de microdureza apesar de, ainda apresentar uma grande variabilidade nos resultados devido ao material ser considerado heterogêneo.

Figura 8 – Microdureza Vickers nas pastas de relação a/c 0,5 e 0,4 com 28 semanas de carbonatação



Fonte: os autores.

Com 28 semanas de exposição (figura 8), observa-se que a microdureza atingiu valores superiores às idades anteriores. Na região não carbonatada, a pasta com relação a/c 0,4 apresentou microdureza com média a 100 HV, enquanto a pasta com relação a/c 0,5 havia carbonatado por inteiro. Na região carbonatada, a pasta com relação a/c 0,4 apresentou valores de microdureza superiores à pasta com relação a/c 0,5.

Os resultados, evidenciam aumento geral da microdureza das pastas ao longo do tempo mesmo expostas à carbonatação natural, tanto em regiões carbonatadas quanto não carbonatadas. Além disso, houve uma maior variabilidade de resultados com a pasta com relação a/c 0,4, comportamento semelhante ao relatado por Shen *et al.* (2017) em pastas de cimento Portland, onde a dureza variou conforme o ponto de indentação. De modo geral, as regiões não carbonatadas e

com menor relação a/c apresentaram maiores valores. Tais resultados indicam que a carbonatação reduz a microdureza, e que a relação a/c exerce uma influência determinante carbonatação e microdureza do material.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou a influência da relação a/c (0,4 e 0,5) nas pastas de cimento supersulfatado expostas a carbonatação natural através da análise de microdureza. Podem ser tiradas as seguintes conclusões:

(a) Sem a presença de carbonatação nas pastas de cimento supersulfatado, a microdureza apresenta valores maiores na relação a/c 0,4 em comparação com a relação a/c 0,5. Esse resultado evidencia a formação de uma matriz mais densa, oferecendo melhores resultados de microdureza em pastas de CSS com menores relações a/c.
(b) A menor relação a/c (0,4) apresentou maior resistência à penetração de CO_2. Esse resultado se confirma na figura 6, onde após 4 semanas de exposição ao CO_2, a pasta de CSS de menor relação a/c ainda não havia evidenciado sinais de carbonatação.
(c) O processo de bicarbonatação, onde a carbonatação aumenta a microdureza de pastas feitas com cimento Portland devido ao preenchimento dos vazios, também ocorre na pasta de CSS exposta. Em 4 semanas de exposição ao CO_2, a pasta com relação a/c 0,5 apresentou sinais de carbonatação e microdurezas maiores na região carbonatada em comparação com a região não carbonatada.
(d) A formação dos produtos hidratados de CSS ocorreu de forma mais rápida na pasta com relação a/c maior, tendo em vista que a região não carbonatada com relação a/c 0,5 apresentou microdureza superior à região não carbonatada com relação a/c 0,4 após 4 semanas de moldagem. Em 12 semanas de moldagem, esse resultado se inverteu, a menor relação a/c apresentou maiores valores de microdureza na região onde não ocorreu carbonatação.
(e) A microdureza teve um impacto negativo nas pastas de CSS com a carbonatação. Em todas as medições de microdureza, a região carbonatada apresentou valores inferiores à região não carbonatada do mesmo corpo de prova. Sendo que, na última idade a menor relação a/c apresentou maior valor de microdureza. Portanto, menores relações a/c nas pastas de cimento supersulfatado em idades de carbonatação avançada, possuem menor suscetibilidade à penetração de CO_2.

Esse estudo visou contribuir com o comportamento do cimento supersulfatado exposto à carbonatação natural através da análise da microdureza. Pesquisas futuras poderiam investigar a variabilidade dos resultados de microdureza em pastas de CSS expostas à carbonatação natural através da identificação das fases cristalinas, bem como avaliar estratégias de melhoria da microdureza em concretos à base de cimento supersulfatado, incluindo a análise da zona de transição interfacial (ZTI).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (406517/2023-1) pelo apoio financeiro, ao Programa PIVIC/UTFPR pelo incentivo à pesquisa e à central de análises da UTFPR – Câmpus Pato Branco.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16372**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

CADORE, D. E.; ANGULSKI DA LUZ, C.; FARIAS DE MEDEIROS, M. H. An investigation of the carbonation of alkaline activated cement made from blast furnace slag generated by charcoal. **Construction and Building Materials**, v. 226, p. 117–125, 2019.

CHEN, H.; SONG, Z.; LIU, B.; SUN, G.; HOU, P.; LI, Q.; WANG, Y.; ZHANG, P.; CHENG, X. Improving the carbonation resistance of supersulfated cement by nano SiO_2 and silica fume. **Cement and Concrete Composites**, v. 158, 2025, art. 105984. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2025.105984.

COLLA, R. A.; THALHEIMER, J. S.; KICH DE RÉ, J.; BALDIN, V.; ANGULSKI, C. Influência das condições de cura no comportamento do cimento supersulfatado (CSS) sujeito à carbonatação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 66., 2025, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: IBRACON, 2025.

DALLA VECCHIA, F. **Avaliação da degradação por CO_2 supercrítico da pasta de cimento Portland.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GIJBELS, K. et al. Effect of NaOH content on hydration, mineralogy, porosity and strength in alkali/sulfate-activated binders from ground granulated blast furnace slag and phosphogypsum. **Cement and Concrete Research**, v. 132, 106037, 2020.

GONG, Y. et al. The synergistic effect of silica fume and γ-C_2S on the carbonation resistance of supersulfated cement. **Developments in the Built Environment,** v. 25, 100868, 2026.

JIA, X.; LING, T.-C.; MEHDIZADEH, H.; MO, K. H. Impact of CO_2 curing on the microhardness and strength of 0.35 w/c cement paste: comparative study of internal/surface layers. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 5, p. 11849–11860, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.08.051.

KICH DE RÉ, J. **Influência da composição química do cimento supersulfatado sujeito à carbonatação natural.** 2025. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2025.

LIAO, Y.; YAO, J.; FANG, D.; LI, H.; WANG, K.; TANG, S. Hydration behavior and strength development of supersulfated cement prepared by calcined phosphogypsum and slaked lime. **Journal of Building Engineering,** v. 80, 2023, 108075. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108075.

PNUMA. **Você sabe como os gases de efeito estufa aquecem o planeta**? Nairobi: UNEP, 2022. Disponível em: https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/voce-sabe-como-os-gases-de-efeito-estufa-aquecem-o-planeta. Acesso em: 16 mar. 2026.

SHEN, Q.; PAN, G.; ZHAN, H. Effect of interfacial transition zone on the carbonation of cement-based materials. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 7, 2017.

SNIC. Relatório anual 2024. Rio de Janeiro: **Sindicato Nacional da Indústria do Cimento**, 2024. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/1763075552.pdf. Acesso em: 16 mar. 2026.

THALHEIMER, J.; COLLA, R. A.; KICH DE RÉ, J.; BALDIN, V.; ANGULSKI DA LUZ, C. Influência da relação a/c no comportamento do cimento supersulfatado (CSS) sujeito à carbonatação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 66., 2025, Curitiba. **Anais [...].** Curitiba: IBRACON, 2025.

VIEIRA, A. de A. P. **Microdureza aplicada ao estudo do dano em revestimentos compósitos para superfícies metálicas.** 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

XUAN, D.; ZHAN, B.; POON, C. S. Assessment of mechanical properties of concrete incorporating carbonated recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 65, p. 67–74, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.10.018.

CAPÍTULO 44 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/5hfs5q10
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/j9fbc733

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES IMPERMEABILIZANTES APLICADOS EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

Milene Morschel[1]*, Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski[2]; Felipe Schneider[3]; Bernardo Tutikian[4]
*Autor de contato: milenemorschel1993@gmail.com

[1] Feevale, Novo Hamburgo/RS, Brasil
[2] Feevale, Novo Hamburgo/RS, Brasil
[3] Unisinos, São Leopoldo/RS, Brasil
[4] Unisinos, São Leopoldo/RS, Brasil

RESUMO

Muros de arrimo são estruturas inerentemente expostas à umidade do solo, o que as torna suscetíveis a danos estruturais e manifestações patológicas como fissuras, eflorescências e manchamentos. A escolha do sistema de impermeabilização adequado é crucial para a durabilidade dessas edificações. Este artigo avalia comparativamente a eficácia técnica de impermeabilizantes cimentícios monocomponente e bicomponente aplicados em dois substratos distintos: pedra grês e bloco cerâmico estrutural. A metodologia adotada foi experimental e exploratória, envolvendo a confecção de protótipos de muros e corpos de prova. Foram realizados ensaios de absorção de água por imersão (adaptados das normas ASTM C97/C97M e NBR 15270), absorção por capilaridade (NBR 15270 e ISO 15148) e monitoramento da umidade superficial em protótipos preenchidos com solo saturado, utilizando termografia infravermelha e higrômetro. Os resultados laboratoriais indicaram que o impermeabilizante bicomponente obteve desempenho superior nos testes de absorção por capilaridade, apresentando coeficientes médios significativamente menores (0,02 kg/m².s^0,5) em ambos os substratos. Entretanto, na avaliação dos protótipos sob condições de umidade ascensional constante e sem drenagem, ambos os sistemas apresentaram eficácia limitada, perdendo a capacidade de estanqueidade a partir do quarto dia. Observou-se que o desempenho depende das características porosas do substrato: o bicomponente foi mais eficaz no bloco cerâmico, enquanto o monocomponente demonstrou melhor adaptação à pedra grês. Conclui-se que, embora mitiguem a propagação da umidade, tais sistemas não garantem estanqueidade total isoladamente em condições de saturação contínua.
Palavras-chave: Muros de arrimo. Impermeabilizantes cimentícios. Absorção de água. Pedra grês. Bloco cerâmico.

ABSTRACT

Retaining walls are structures continuously exposed to soil moisture, making them susceptible to pathological manifestations such as cracking and efflorescence. This paper comparatively evaluates the technical effectiveness of single-component and two-component cementitious waterproofing systems applied to two distinct substrates: sandstone and structural ceramic block masonry. The methodology was experimental and exploratory, involving the fabrication of prototypes and the performance of water absorption tests by immersion, capillary water absorption tests, and surface moisture monitoring using infrared thermography and a hygrometer. Laboratory results indicated that the two-component waterproofing system achieved superior performance in capillary absorption tests on both substrates. However, in prototype assessments simulating real conditions of saturated soil, both systems showed limited effectiveness, losing watertightness from the fourth day of exposure onward. Performance was observed to depend on

the substrate's pore structure, with the two-component system being more effective on ceramic block masonry and the single-component system showing better adaptation to sandstone. It is concluded that, although they do not ensure full watertightness under constant saturation without drainage, these systems mitigate moisture propagation.
Keywords: Retaining walls. Cementitious waterproofing systems. Water absorption. Sandstone. Load-bearing clay hollow brick.

1. INTRODUÇÃO

Os muros de arrimo, também designados como muros de contenção, constituem estruturas verticais importantes na construção civil, projetadas especificamente para conter o empuxo do solo e assegurar a estabilidade de taludes e desníveis em terrenos variados. A Norma Brasileira NBR 11682 (ABNT, 2009) adota o termo muro de contenção para definir os critérios de projeto em diferentes contextos, embora a literatura técnica e o uso corrente no Brasil frequentemente empreguem o termo muro de arrimo como sinônimo funcional, sobretudo em obras de menor porte (Marchetti, 2008; Gerscovich, 2010). A estabilidade dessas estruturas é garantida, geralmente, pelo peso próprio do conjunto ou por elementos que resistem à flexão (Saramago, 2019; Marques, 2023). A estrutura capilar dos materiais que compõem esses elementos construtivos desempenha um papel importante na absorção e na movimentação da água em seu interior, influenciando diretamente a durabilidade dos materiais quando expostos a ambientes úmidos.

Devido à exposição constante à umidade proveniente do solo, os muros de arrimo são particularmente suscetíveis ao surgimento de manifestações patológicas. Entre as anomalias mais frequentes, destacam-se fissuras, eflorescências, bolhas, destacamentos, manchas decorrentes da ação de agentes biológicos, além da deterioração generalizada dos materiais e corrosão de armaduras (Mendonça et al., 2012; Bauer, 2019). Tais problemas estão frequentemente associados a falhas nos sistemas de impermeabilização empregados, o que compromete a segurança, a durabilidade e a estética das edificações.

Nesse contexto, a adequada aderência dos impermeabilizantes aos substratos de aplicação é crucial para o desempenho esperado do sistema de proteção contra infiltrações (IBI, 2018). No mercado da construção civil, observa-se uma variedade de impermeabilizantes cimentícios, tanto monocomponentes (diluídos em água) quanto bicomponentes (que utilizam resina para diluição). Diante desse cenário, o objetivo geral desta pesquisa é avaliar comparativamente a eficácia de diferentes tipos de impermeabilizantes (cimentício monocomponente e bicomponente) aplicados em protótipos de muros de arrimo construídos com dois substratos distintos: bloco cerâmico estrutural e pedra grês. O estudo busca identificar qual sistema apresenta maior eficácia técnica, considerando a absorção por imersão, a absorção por capilaridade e a evolução da umidade superficial, fornecendo subsídios para decisões na fase de projeto e assim contribuindo para o adequado desempenho e vida útil desses sistemas construtivos.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 Estruturas de contenção e substratos

As estruturas de contenção agrupam-se em diferentes categorias com base no mecanismo estrutural predominante que atua para resistir aos esforços exercidos pelo solo. Segundo Marques (2023), os muros de gravidade opõem-se ao empuxo principalmente por meio de seu peso próprio, englobando soluções como alvenaria de pedras, concreto ciclópico, gabiões, sacos de solo-cimento e muros de pneus. Em contraste, os muros de flexão, tipicamente construídos em concreto armado, resistem às cargas horizontais por meio da flexão estrutural, sendo soluções mais esbeltas e adequadas para áreas urbanas com restrição de espaço. Existem ainda os muros de solo reforçado com

geossintéticos e blocos segmentais (Rodrigues; Santos, 2019), bem como as estruturas em cortina atirantada, paredes diafragma e estacas justapostas (Gerscovich; Danziger; Saramago, 2019; Faria; Oliveira, 2021; Almeida; Silva, 2020)

No tocante aos substratos, a escolha do material baliza o comportamento da estrutura frente à água. A alvenaria de pedras, como a pedra grês, caracteriza-se pela elevada durabilidade e resistência mecânica. A pedra grês é uma rocha sedimentar arenítica cuja porosidade e capacidade de absorção estão intrinsicamente ligadas ao seu estado de fissuração e rede de capilares (Bauer, 2019; Winkler, 1997). Em rochas sedimentares, a porosidade é entendida como a razão entre o volume de vazios e o volume total, influenciando a movimentação de água no interior do material (ASTM C97/C97M, 2002).

Por outro lado, os blocos cerâmicos estruturais, produzidos a partir de argilas compostas por sílica, silicato de alumínio e óxidos ferrosos, dependem de variáveis como a temperatura de queima e a umidade de moldagem para a definição de sua porosidade total (Isaia, 2017). A avaliação da absorção inicial de água desses blocos, normatizada pela NBR 15270 (ABNT, 2023), é fundamental para garantir a aderência adequada com as argamassas e demais revestimentos.

2.2 A Dinâmica da umidade e porosidade

A interação entre a umidade e esses substratos porosos desencadeia os já citados processos patológicos. A movimentação da água nos materiais ocorre predominantemente pelos fenômenos de adsorção física e condensação capilar (Herrmann; Mohamad; Lima, 2019). Em pedras naturais sedimentares, os poros classificam-se em macroporos, mesoporos e microporos intergranulares, o que torna o processo de absorção e saturação capilar mais lento em comparação aos blocos cerâmicos, cujas redes capilares são altamente interconectadas (Rößler et al., 2002; Grinzato; Cadelano; Bison, 2010; Lourenço; Rocha; Ramos, 2007).

A umidade em elementos construtivos, em especial nos muros de arrimo, manifesta-se de diversas formas. A umidade acidental resulta de falhas esporádicas em instalações hidráulicas (Righi, 2009; IOM, 2004; Son; Yuen, 1993; CDT/UnB, 2012). A umidade ascensional, foco de grande preocupação em estruturas enterradas e fundações, consiste na ascensão da água do solo através da capilaridade dos materiais, sendo um fenômeno que depende diretamente da porosidade e do diâmetro dos poros hidrófilos (Verçoza, 1991; Brito, 2003; Souza, 2008; ABNT, 2010; Polisseni, 1986; Kubal, 2008; Bauer, 2019). Há também a umidade originária do processo de construção, gerada pela água incorporada aos próprios materiais durante a fase executiva (Henriques, 1994; Rodrigues; Sobrinho Júnior; Lima, 2016; OMS, 2009), e a umidade de precipitação, decorrente da água da chuva combinada com a ação dos ventos (Figueiredo; Varum; Costa, 2012; Kharseh; Kalantari; Sala, 2017; Lstiburek; Carmody, 1991).

2.3 Sistemas de impermeabilização cimentícios

Para conter tais manifestações, empregam-se os sistemas de impermeabilização. Conforme Morgado (2020), as contenções podem ser impermeabilizadas sob pressão positiva, na face externa em contato direto com o solo, ou sob pressão negativa, na face interna da estrutura. A NBR 9575 (ABNT, 2010) classifica os impermeabilizantes em asfálticos, poliméricos e cimentícios, além de dividi-los entre sistemas rígidos e flexíveis. Os sistemas cimentícios, balizados também pela NBR 11905 (ABNT, 2015), compreendem argamassas poliméricas que oferecem estanqueidade, preservando a difusão de vapor, sendo indicadas para locais sem movimentação térmica expressiva (Scheidegger, 2019). Estudos anteriores corroboram a eficácia desses materiais. Sabino e Pereira (2019) observaram que impermeabilizantes cimentícios bicomponentes e cristalizantes reduziram significativamente a taxa de absorção em estruturas de concreto. Similarmente, Kwiatkowski e

Seidler (2014) demonstraram que sistemas cimentícios aplicados em fundações apresentaram absorção inferior a 0,20%, superando o desempenho de emulsões asfálticas em condições de imersão parcial. No entanto, pesquisas como a de Araújo et al. (2020), utilizando termografia, alertam que falhas de execução e empoçamento na base podem comprometer o desempenho, e que argamassas poliméricas podem apresentar resultados inferiores a membranas acrílicas ou cimentos cristalizantes em determinadas condições de chuva dirigida.

3. METODOLOGIA

3.1 Materiais

O programa experimental foi conduzido em laboratório, utilizando dois substratos principais:

a) Bloco cerâmico estrutural: dimensões de 11,5 x 19 x 44 cm, classe EST 40, segundo classificação da NBR 15270 (ABNT, 2023), resistência característica à compressão (fbk) de 4,0 MPa e absorção de água de referência de 18%.
b) Pedra grês serrada: rochas sedimentares do tipo arenito, com dimensões de 11-14 cm de espessura, 21 cm de largura e 42 cm de comprimento.

Foram avaliados dois sistemas de impermeabilização cimentícia disponíveis no mercado:

a) Impermeabilizante 1 (monocomponente): cristalizante cimentício rígido, composto por cimento Portland, cargas minerais e aditivos especiais. Preparo: 5 kg de pó para 2 litros de água.
b) Impermeabilizante 2 (bicomponente): argamassa polimérica composta por Cimento Portland, areia quartzosa e aditivos (Componente A - Pó) e resina (Componente B - Líquido). Preparo por mistura mecânica dos dois componentes.

3.2 Confecção dos protótipos

Foram construídos seis protótipos de muros de arrimo em formato de caixas retangulares (quatro faces laterais e preenchimento interno de solo), assentados sobre lona plástica para isolar eventual umidade proveniente do piso. A distribuição dos protótipos foi organizada a partir de um protótipo de referência (sem impermeabilizante) e dois com impermeabilizantes (mono e bicomponente) para cada tipo de substrato (cerâmica e pedra grês). As alvenarias foram assentadas com argamassa cimentícia industrializada e, após cura de 7 dias, receberam uma camada de regularização. A aplicação dos impermeabilizantes seguiu as recomendações dos fabricantes: três demãos cruzadas, com intervalo de cura de 24 horas entre demãos e cura total de 28 dias.

Figura 1 - Construção dos protótipos: assentamento dos blocos: (a) pedra grês (b) bloco cerâmico



(a) (b)

Fonte: Registrada pelos autores.

3.3 Ensaios

Os procedimentos metodológicos dividiram-se em quatro ensaios, conforme descrito a seguir.

3.3.1 Absorção de água por imersão (corpos de prova):

Adaptado das normas ASTM C97/C97M (ASTM, 2002) para a pedra e NBR 15270 (ABNT, 2023) para a cerâmica. Utilizaram-se 9 amostras de cada substrato (3 para cada condição: referência, mono e bicomponente). As amostras de referência foram secas em estufa (105°C para cerâmica, 60°C para pedra) até massa constante (ms). Após imersão em água por 24h e 48h, registrou-se a massa úmida (mu), para posterior cálculo da absorção de água.

3.3.2 Absorção de água por capilaridade (corpos de prova):

O segundo ensaio avaliou a absorção de água por capilaridade, fundamentado em adaptações das normas NBR 15270 (ABNT, 2023) e ISO 15148 (ISO, 2002). O procedimento englobou a imersão parcial contínua das faces de nove amostras de cada material em uma lâmina de água de 3,0 mm. O ganho de massa foi aferido e registrado rigorosamente nos tempos cronometrados de 1 minuto, 20 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas, 24 horas e 30 horas. Com as medidas, determinaram-se os coeficientes médios de absorção capilar e as variações de massa por unidade de área;

3.3.3 Avaliação da umidade superficial protótipos - termografia)

Após a cura, os protótipos (muros) foram preenchidos com solo arenoso e saturados com água para simular pressão positiva e umidade ascensional. O monitoramento ocorreu durante 8 dias consecutivos utilizando uma câmera termográfica FLIR C2. A análise baseou-se na identificação de "áreas frias" (tons de azul) indicativas de umidade, versus "áreas quentes" (tons de vermelho/laranja) indicativas de superfície seca.

3.3.4 Avaliação da umidade superficial (protótipos - higrômetro)

Por fim, realizou-se a quantificação da umidade superficial com o emprego do medidor de umidade não destrutivo (higrômetro STHT77030), previamente calibrado. Realizaram-se medições simultâneas aos registros termográficos ao longo dos 8 dias, coletando-se o percentual de umidade na região inferior, na região central e na região superior das faces com impermeabilização e em uma face sem impermeabilização (referência). A análise dos resultados baseou-se no cruzamento dos comportamentos numéricos e das anomalias térmicas observadas.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Absorção de água por imersão

No ensaio de absorção de água por imersão, observou-se uma distinção acentuada entre a capacidade de saturação dos dois substratos analisados. As amostras de referência (não impermeabilizadas) do bloco cerâmico atingiram absorções médias de 17,13% em 24 horas e 17,22% após 48 horas. Esses valores convergem com as propriedades indicadas pelo fabricante do insumo e respeitam a variação estipulada pela NBR 15270-1 (ABNT, 2017), confirmando a porosidade elevada e interconectada característica das peças cerâmicas. Com a aplicação dos tratamentos, houve decréscimo nessas taxas; o bloco com produto monocomponente registrou uma média de 12,96% às 48 horas, enquanto o impermeabilizante bicomponente apontou 14,22%.

Por sua vez, a pedra grês sem tratamento obteve um comportamento inerentemente mais restrito, atingindo a saturação média de 6,99% ao cabo de 48 horas. Conforme embasado por Rößler et al. (2002) e Grinzato, Cadelano e Bison (2010), a predominância de microporos na rede matricial rochosa determina não apenas um menor limite de volume preenchível inicial, mas também impõe uma acentuada morosidade ao mecanismo de difusão de água. Ao receber os sistemas protetivos, os índices diminuíram ainda mais: o monocomponente finalizou com 6,57%, enquanto o bicomponente apontou o melhor desempenho, obtendo um registro de apenas 6,07% no mesmo período, refletindo uma mitigação eficaz da penetração aquosa.

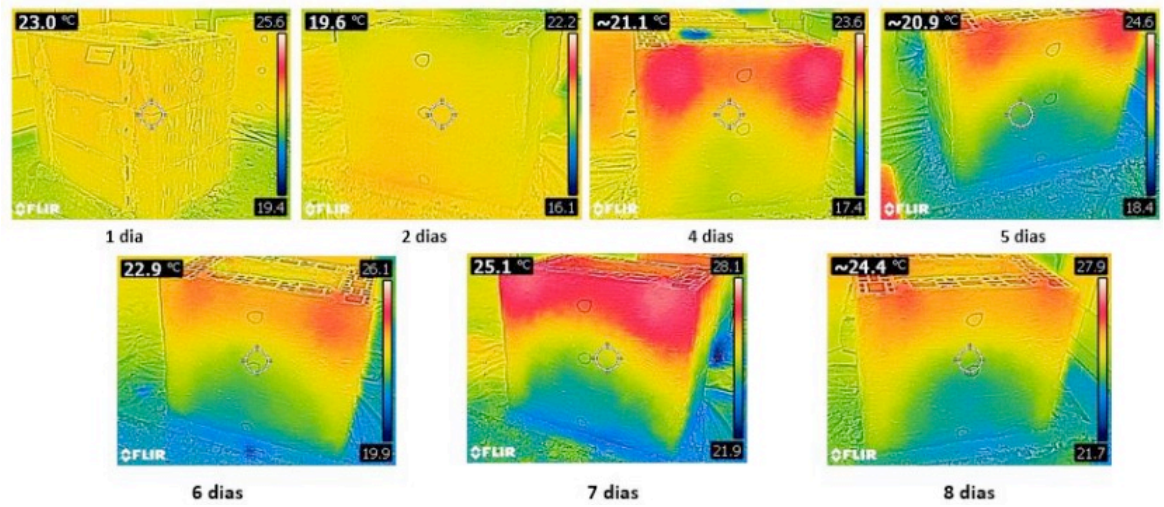
4.2 Absorção de água por capilaridade

A análise dos coeficientes de absorção capilar demonstrou a superioridade do sistema bicomponente. No bloco cerâmico, a referência iniciou com um coeficiente de absorção muito alto (0,43 kg/m².s^0,5 em 1 min). O tratamento com impermeabilizante bicomponente reduziu drasticamente esse valor para 0,02 kg/m².s^0,5, mantendo-se constante ao longo das 30 horas de ensaio. O monocomponente também reduziu a capilaridade (0,12 kg/m².s^0,5 inicial), estabilizando em 0,05 kg/m².s^0,5, mas ainda superior ao bicomponente.
Na pedra grês, a referência apresentou coeficiente inicial de 0,70 kg/m².s^0,5. Ambos os impermeabilizantes foram eficazes em reduzir essa taxa, com o bicomponente novamente apresentando os menores valores iniciais (0,07 kg/m².s^0,5) e finais. Esses dados corroboram as conclusões de Kwiatkowski e Seidler (2014) sobre a eficiência de base cimentícia na redução da permeabilidade, especialmente os bicomponentes que formam uma barreira física e química mais robusta nos poros superficiais.

4.3 Higrômetro e análise visual via termografia

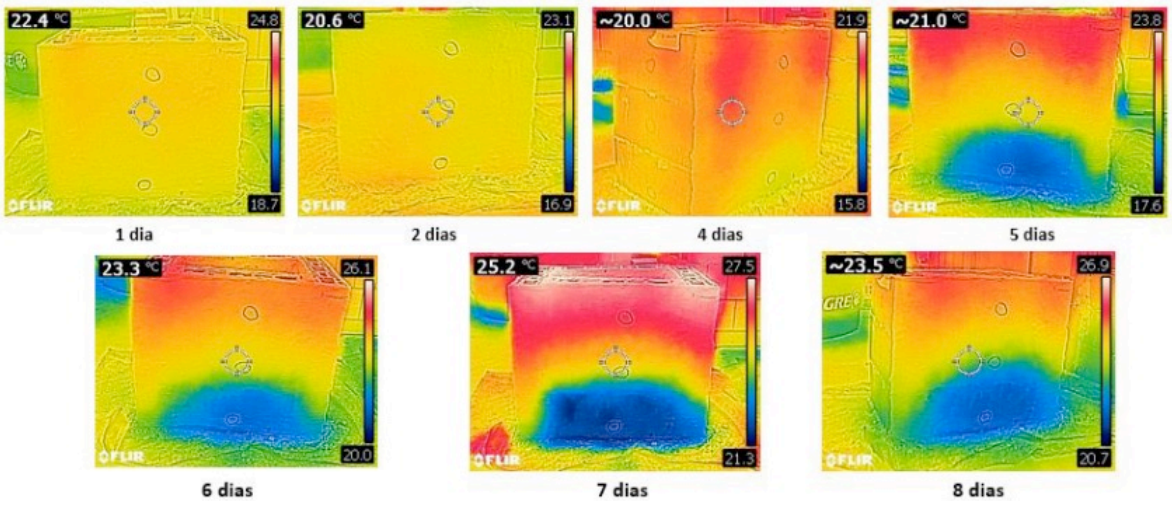
A avaliação dos protótipos em escala real, simulando condições de uso (solo saturado internamente), revelou limitações que os ensaios em corpos de prova não captaram totalmente. As imagens termográficas mostraram que, até o 4º dia, os sistemas impermeabilizantes contiveram a umidade satisfatoriamente (predominância de cores quentes/secas). No entanto, a partir do 4º dia, surgiram "áreas frias" (azuladas) indicando infiltração. No 8º dia, a água havia transposto a barreira em todos os protótipos.
O higrômetro quantificou esse fenômeno. No bloco cerâmico de referência, a umidade atingiu 25% no 7º dia. O sistema bicomponente conseguiu manter a umidade entre 8% e 16% na maioria dos pontos, demonstrando melhor desempenho que o monocomponente (15-17%) para este substrato. Isso sugere que a argamassa polimérica bicomponente tem melhor aderência e capacidade de vedação na superfície mais porosa e absorvente da cerâmica.

Figura 2 - Imagens termográficas dos protótipos de bloco cerâmico com impermeabilizante monocomponente



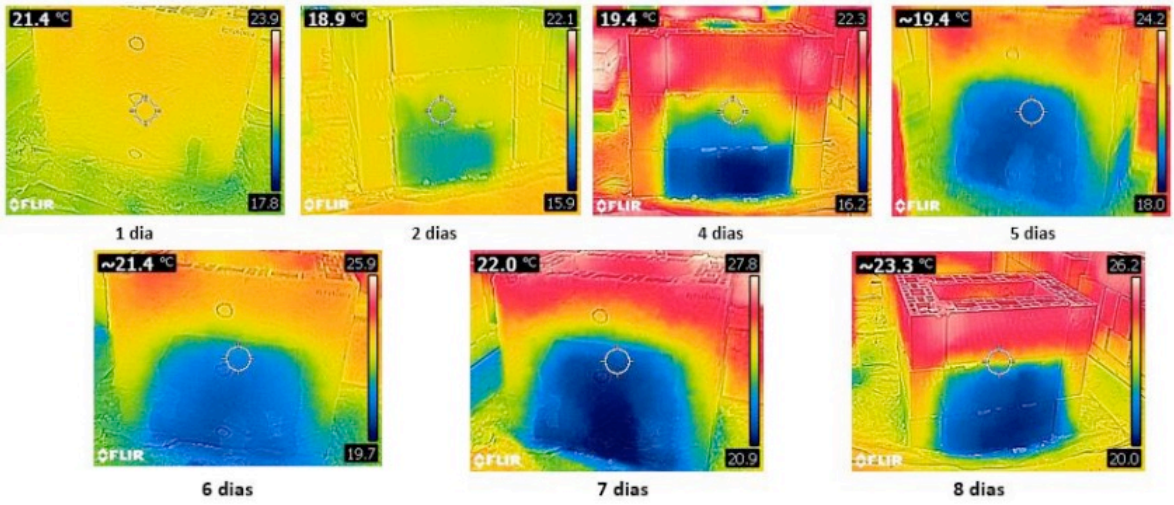
Fonte: Registrada pelos autores.

Figura 3 - Imagens termográficas dos protótipos de bloco cerâmico com impermeabilizante bicomponente



Fonte: Registrada pelos autores.

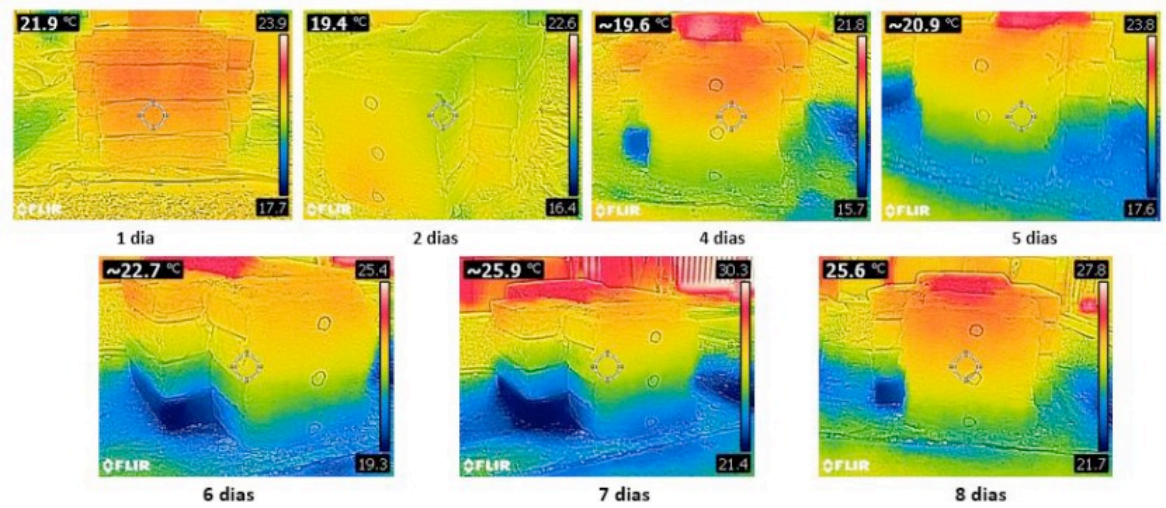
Figura 4 - Imagens termográficas dos protótipos de bloco cerâmico sem impermeabilizante (referência)



Fonte: Elaborada pelos autores.

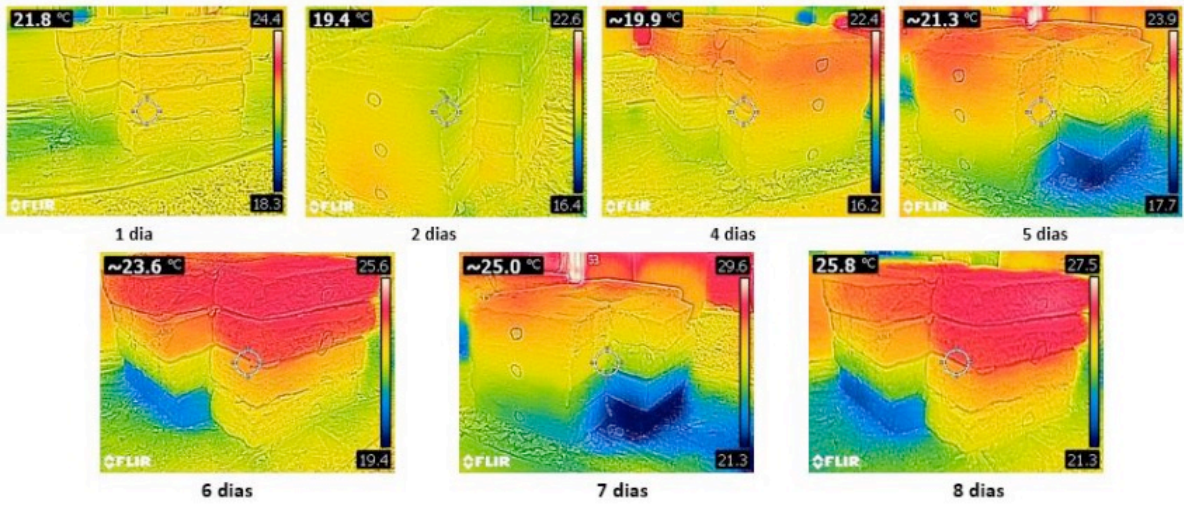
Inversamente, na pedra grês, o impermeabilizante monocomponente (cristalizante) apresentou melhor desempenho visual e quantitativo, mantendo a umidade entre 15-18% com menor variação térmica, enquanto o bicomponente apresentou instabilidade, chegando a 18% no segundo dia. A amostra de referência de pedra grês atingiu 25% de umidade, evidenciando a ascensão capilar progressiva. A melhor performance do cristalizante na pedra pode estar associada à sua capacidade de penetrar nos microporos da rocha e reagir quimicamente, enquanto a película do bicomponente pode ter sofrido com a pressão de vapor ou aderência na superfície da pedra.

Figura 5 - Imagens termográficas do protótipo de pedra grês com impermeabilizante bicomponente



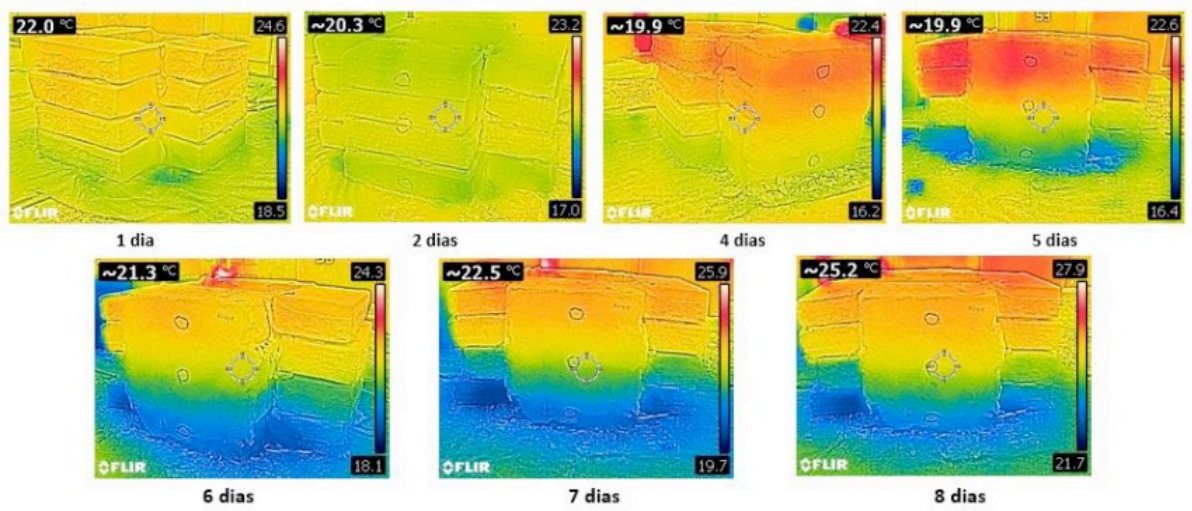
Fonte: Registrada pelos autores.

Figura 6 - Imagens termográficas do protótipo de pedra grês com impermeabilizante monocomponente



Fonte: Registrada pelos autores.

Figura 7 - Imagens termográficas do protótipo de pedra grês sem impermeabilizante (referência)



Fonte: Registrada pelos autores.

5. CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados, podem ser assumidas como principais conclusões:
1. Nos ensaios laboratoriais padronizados (corpos de prova), o impermeabilizante bicomponente apresentou desempenho superior, com os menores coeficientes de absorção por capilaridade e imersão, especialmente no bloco cerâmico.
2. A natureza do substrato influenciou a eficácia do sistema de impermeabilização. O substrato composto por alvenaria de blocos cerâmicos apresentou melhor desempenho com o sistema de impermeabilização bicomponente, enquanto o substrato composto por pedra grês, apresentou melhor resposta ao sistema monocomponente.
3. Em condições de exposição realística (protótipos com solo saturado), nenhum dos sistemas garantiu estanqueidade total por período prolongado. A falha observada a partir do 4º dia e a transposição da água no 8º dia indicam que, sob pressão hidrostática constante e saturação do solo sem drenagem auxiliar, apenas a impermeabilização da face interna/externa foi insuficiente.
4. Os sistemas cimentícios atuam efetivamente como mitigadores, retardando a ascensão capilar e reduzindo os índices de umidade superficial em comparação às referências não tratadas (redução de 25% para cerca de 15% de umidade média).
Recomenda-se, para trabalhos futuros, a ampliação do tempo de monitoramento para avaliar o efeito cumulativo a longo prazo e a investigação da interação desses impermeabilizantes com sistemas de drenagem eficientes, visto que a impermeabilização isolada se mostrou uma medida preventiva de mitigação, mas não uma solução definitiva para cenários críticos de saturação.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. R.; SILVA, G. F. Estacas justapostas como solução de contenção: análise de desempenho em obras urbanas. **Revista Brasileira de Geotecnia**, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM INTERNATIONAL. **ASTM C97/C97M – 2002**: Standard test methods for absorption and bulk specific gravity of dimension stone. West Conshohocken: ASTM International, 2002.

ARAÚJO, M. F.; OLIVEIRA, N. L.; CANTARINI, N.; LIMA, P. P.; BARBOZA, V. R. **Análise comparativa entre métodos de impermeabilização de fachadas**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Mackenzie, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575: **Impermeabilização – Seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: **Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11905: **Sistema de impermeabilização composto por cimento impermeabilizante e polímeros**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270: **Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 1**: Requisitos. Rio de Janeiro, 2023.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 6. ed. v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

BRITO, J. **Umidade ascendente em paredes térreas de edifícios**. Lisboa: LNEC, 2003.

FARIA, L. M.; OLIVEIRA, A. C. Estruturas de contenção com perfis metálicos e painéis pré-moldados: vantagens e limitações. **Cadernos de Engenharia Estrutural**, v. 23, n. 2, p. 112-123, 2021.

FIGUEIREDO, A.; VARUM, H.; COSTA, A. **Diagnóstico das anomalias em edificações**: Um enfoque em estruturas de betão armado. Lisboa: LNEC, 2012.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de contenção**: Muros de arrimo. Rio de Janeiro: UERJ, 2010.

GERSCOVICH, D. M. S.; DANZIGER, M.; SARAMAGO, F. **Estruturas de contenção**: Teoria e prática. São Paulo: Editora Técnica, 2019.

GRINZATO, E.; CADELANO, G.; BISON, P. Moisture map by IR thermography. **Journal of modern Optics**, v. 57, n. 18, 2010.

HENRIQUES, F. M. A. **Humidade em edifícios**: diagnóstico, patologias e intervenções. Lisboa: Orion, 1994.

HERRMANN, T. D.; MOHAMAD, G.; LIMA, R. C. A. Avaliação do comportamento de estanqueidade à água de argamassas e hidrorrepelentes – Parte II. **Matéria**, v. 24, n. 4, 2019.

INSTITUTE OF MEDICINE - IOM. **Damp indoor spaces and health**. Washington: The National Academies Press, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO - IBI. **Recomendações em relação aos sistemas de impermeabilização**. São Paulo, 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 15148: **Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water absorption coefficient by partial immersion**. Geneva, 2002.

ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

KHARSEH, M.; KALANTARI, S.; SALA, L. Evaluation of moisture penetration through building envelopes. **Energy Procedia**, 2017.

KUBAL, M. T. **Construction waterproofing handbook**. 2. ed. New York: The McGraw-Hill Companies, 2008.

KWIATKOWSKI, R. V.; SEIDLER, N. Estudo comparativo da eficiência de impermeabilizantes em fundações. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC**, 15., 2014, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2014.

LOURENÇO, P. B.; ROCHA, J.; RAMOS, L. F. Capacidade de absorção capilar dos blocos cerâmicos. In: SAAVEDRA, W. (org.). **Avanços em materiais de construção**. Lisboa: Springer, 2007. p. 251–294.

LSTIBUREK, J.; CARMODY, J. **Moisture control handbook**: Principles and practices for residential and small commercial buildings. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

MARQUES, A. R. **Estruturas de contenção: Fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Técnica, 2023.

MARCHETTI, O. **Muros de arrimo**. São Paulo: Blucher, 2008.

MENDONÇA, A. M. G. D. et al. Expansão por umidade de revestimentos cerâmicos incorporados com resíduos de granito e caulim. **Cerâmica**, v. 58, n. 346, 2012.

MORGADO, L. E. **Impermeabilização ajuda a garantir a estabilidade de muros de arrimo**. Revista AECweb, São Paulo, 2020. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/revista/materias/impermeabilizacao-ajuda-a-garantir-a-estabilidade-de-muros-de-arrimo/18585. Acesso em: 02 nov. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Diretrizes da OMS para a qualidade do ar em ambientes fechados**: umidade e mofo. Escritório Regional para a Europa, 2009.

POLISSENI, A. E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede**: Método do cachimbo. 1986. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

RIGHI, L. C. **Estudo dos sistemas de impermeabilização**: Patologias, prevenção e correções – análise de casos. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

RODRIGUES, M. E.; SOBRINHO JÚNIOR, J. A.; LIMA, M. R. Umidade em edificações: causas, consequências e soluções. **Revista Brasileira de Engenharia Civil**, v. 4, n. 2, p. 19-33, 2016.

RODRIGUES, V. A.; SANTOS, M. C. Muros de solo reforçado: análise do comportamento e recomendações técnicas. **Revista Geotecnia**, 2019.

RÖßLER, M. et al. **Characterisation of pore space properties in sandstones using nuclear magnetic resonance**. 2002.

SABINO, T. D. M. M.; PEREIRA, F. S. C. Análise de impermeabilizantes visando o aumento da durabilidade de estruturas de concreto armado e protendido. **Revista UNI-RN**, v. 19, n. 2, p. 29–40, 2019.

SARAMAGO, F. **Estruturas de contenção: Muros de arrimo**. Rio de Janeiro: UERJ, 2019.

SCHEIDEGGER, G. M. Impermeabilização de edificações: mantas asfálticas e argamassas poliméricas. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Conhecimento**, v. 4, p. 126-151, 2019.

SOUZA, R. **Manual de Inspeção Predial**: Manutenção predial preventiva, corretiva e preditiva. São Paulo: PINI, 2008.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das edificações**. Porto Alegre: Sagra, 1991.

WINKLER, E. **Stone in architecture**: Properties, durability. Berlin: Springer-Verlag, 1997.

CAPÍTULO 45 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/zrb2ew52
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/zzjy8z21

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TEORES DE ÓXIDO DE FERRO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ARGAMASSA PIGMENTADA

Giulia Alves de Cesaro[1], Fernanda Pacheco[2]*; Fernanda Teixeira[2]; Nicoli de Borba Muller[2]; Roberto Christ[2]; Sérgio Klippel Filho[2]
*Autor de contato: fernandapache@unisinos.br
[1] Pós graduação em Patologia e perícia das construções, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil
[2] Instituto tecnológico em desempenho e construção civil, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

RESUMO

A utilização de argamassas pigmentadas tem se consolidado como uma solução na construção civil contemporânea, com benefícios estéticos e operacionais, como a eliminação de etapas de acabamento e redução de custos. Nesse contexto, os pigmentos inorgânicos à base de óxido de ferro destacam-se pela estabilidade química e resistência às intempéries. No entanto, ainda há lacunas na literatura quanto à influência desses pigmentos nas propriedades físico-mecânicas das matrizes cimentícias. O presente estudo analisou o impacto da incorporação de diferentes teores de óxido de ferro (0%, 2% e 4%) no desempenho mecânico de argamassas. Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial, tração por compressão diametral e tração na flexão. Os resultados indicaram uma tendência de redução da resistência mecânica com a adição de pigmentos, especialmente para o teor de 2%, embora o comportamento não tenha sido linear. Conclui-se que a pigmentação interfere no desempenho das argamassas, sendo necessária maior investigação experimental para definição de parâmetros ideais de dosagem.
Palavras-chave: Argamassa pigmentada, pigmentos inorgânicos, óxido de ferro.

ABSTRACT

The use of pigmented mortars has become increasingly established in contemporary construction, offering both aesthetic and operational advantages, such as the elimination of finishing stages and cost reduction. In this context, inorganic pigments based on iron oxide stand out due to their chemical stability and resistance to weathering. However, there are still gaps in the literature regarding the influence of these pigments on the mechanical properties of cementitious matrices. This study evaluated the impact of incorporating different contents of iron oxide (0%, 2%, and 4%) on the physical and mechanical performance of mortars. Tests were conducted to determine axial compressive strength, splitting tensile strength, and flexural tensile strength. The results indicated a trend toward reduced mechanical strength with the addition of pigments, particularly at the 2% content, although the behavior was not linear. It can be concluded that pigmentation affects the performance of mortars, highlighting the need for further experimental investigation to establish optimal dosage parameters.
Keywords: Pigmented mortar; inorganic pigments; iron oxide.

1. INTRODUÇÃO

A argamassa é um dos materiais mais empregados na construção civil, desempenhando funções fundamentais como assentamento, revestimento e acabamento de superfícies. Conforme a ABNT

NBR 13281-1 (2023), a argamassa é definida como uma “mistura homogênea de um ou mais ligantes inorgânicos, agregados miúdos (conforme as ABNT NBR 7211 e ABNT NBR 7221) e água, podendo conter fibras, adições e/ou aditivos, com características específicas de desempenho adequadas à utilização”.

Tradicionalmente sua aplicação está associada à proteção das estruturas, porém, nas últimas décadas, passou a assumir também uma função estética mais expressiva. A partir da década de 1960, observa-se, na construção civil brasileira, uma crescente valorização das variações de cores, texturas e formas, especialmente em edificações com concreto aparente, amplamente exploradas por arquitetos como Oscar Niemeyer, Ruy Ohtake, Villanova Artigas e Lina Bo Bardi (AGUIAR, 2006 apud ANDREATTA et al., 2016). Nesse contexto, o uso de concretos e argamassas pigmentadas ganhou relevância, sobretudo por possibilitar a eliminação de etapas posteriores de revestimento e pintura, contribuindo para a redução de custos e maior agilidade no processo construtivo.

Para a obtenção de argamassas pigmentadas, além dos constituintes convencionais, podem ser incorporados diferentes tipos de pigmentos. De acordo com Rocha-Gomes e Alvarez (2007 apud Andreatta et al., 2016) e Summy, Bergmann e Takimi (2012 apud Andreatta et al., 2016), destacam-se os pigmentos inorgânicos à base de óxidos metálicos, como ferro, cobalto e cromo, devido à sua elevada estabilidade química e à capacidade de proporcionar coloração uniforme e durável. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar a influência de diferentes teores de óxido de ferro nas propriedades da argamassa pigmentada no estado endurecido

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Componentes da matriz

A argamassa pode ser definida como um material compósito resultante da mistura homogênea de ligantes inorgânicos, agregados miúdos e água, podendo ou não incorporar aditivos. Sob o ponto de vista da colorimetria, a composição da argamassa exerce influência direta sobre o resultado, sendo imprescindível considerar a interação entre seus constituintes. Conforme a Portland Cement Association (2003 apud Conceição, 2015), fatores como o tipo e a coloração do cimento, a natureza e a dosagem dos pigmentos, bem como suas características físicas (granulometria, pureza e tonalidade), além dos aditivos empregados, são determinantes na definição da cor final. Dentre esses parâmetros, destacam-se os ligantes inorgânicos como os principais responsáveis pela coloração da matriz. (VEIGA; VELOSA; TAVARES, 2008).

No âmbito da construção civil, o cimento Portland convencional é amplamente utilizado como ligante. No entanto, sua coloração cinza escura impõe limitações à obtenção de tonalidades mais claras e à reprodução fiel de pigmentos incorporados à mistura. Nesse contexto, o uso do cimento Portland branco apresenta-se como uma alternativa tecnicamente adequada, pois permite maior precisão cromática e melhor evidência das cores dos pigmentos (PASSUELO, 2004). Além disso, estudos indicam que matrizes produzidas com cimento branco apresentam maior luminosidade e fidelidade visual quando comparadas àquelas elaboradas com cimento cinza, favorecendo aplicações arquitetônicas e estéticas (Americas’s Cement Manufactures, 2022 apud OLIVEIRA; SOUZA; GOMES, 2023).

Outro ponto a se destacar é a relação água/cimento, que além de influenciar as propriedades mecânicas, também afeta a cromaticidade da argamassa. De acordo com a LANXESS (2010 apud Paiva et al., 2017), o aumento da relação água/cimento tende a resultar em tonalidades mais claras. Tal fenômeno está associado à evaporação do excesso de água durante o processo de cura, o que gera uma maior porosidade na matriz. Esses poros promovem maior dispersão da luz incidente, ocasionando o clareamento visual da superfície.

2.2. Pigmentos

Além dos componentes definidos pela NBR 13281-1, as argamassas cromáticas são constituídas pelos materiais colorantes. Rojas (2001 apud Piovesan, 2009) descreve que os colorantes podem ser classificados como pigmentos ou corantes, e estes podem ser subdivididos em orgânicos e inorgânicos. A diferença principal entre os pigmentos e corantes é a solubilidade, já que que os pigmentos são insolúveis e os corantes são solúveis em meio aquoso ou em qualquer meio que contenha solvente. De acordo com Bondioli, Manfredini e Oliveira (1998), a solubilidade dos corantes faz com que o material perca suas características estruturais e cristalinas, o que torna seu uso inadequado para argamassas.

Já Coelho (2001 apud Piosevan, 2009) afirma que os pigmentos inorgânicos são mais indicados na área da construção, já que atendem os principais requisitos para serem utilizados na fabricação de argamassas e concretos. Ou seja, os pigmentos inorgânicos são inertes com os demais componentes da argamassa e do concreto, asseguram e mantém a sua cor original, apresentam uma boa resistência a ação da luz e das intempéries, possuem um ph estável, são insolúveis em água e misturam se facilmente com o cimento e com os finos do concreto e da argamassa. De acordo com Gonçalves (2019), para a fabricação de argamassas e concretos, os pigmentos à base de óxido de ferro são os mais indicados. Na Tabela 01 são apresentadas as cores e composição químicas destes pigmentos.

Tabela 1 – Composição Química dos pigmentos

Cor	Composição Química	Denominação Química
Vermelho	Fe_2O_3	Óxido Férrico
Amarelo	$Fe(OH)_2$	Hidróxido Ferroso
Preto	Fe_3O_4	Óxido Duplo de Ferro
Verde	Cr_2O_3	Óxido de Cromo

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2019).

Entretanto, Lee, Lee e YU (2005) afirmam que a adição de pigmentos inorgânicos, caracterizados com uma granulometria fina, eleva a quantidade de água necessária na argamassa e reduz a trabalhabilidade e fluidez. Isso torna necessária a adição de aditivos plastificantes para restabelecer a consistência adequada da argamassa. De acordo com Di Sessa e Oliveira (2019), alguns autores afirmam que a resistência a compreensão pode ser reduzida com o acréscimo de pigmentos. Além disso, de acordo com Carvalho (2002 apud Gonçalves,2019), a estabilidade da cor matrizes cimentícias é influenciada, principalmente, pela qualidade da produção da matriz, qualidade e dosagem do pigmento incorporado na mistura, pelo meio e pelas intempéries a que estão expostas, pelo envelhecimento natural e pela exposição a raios UV.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1. Metodologia

O presente estudo foi estruturado em cinco etapas. Na primeira etapa, foi desenvolvimento o referencial teórico visando compreender a influência dos componentes da mistura que compõem a argamassa. A segunda etapa consistiu na especificação dos materiais que compõem a matriz cimentícia e na definição do traço da argamassa. Posteriormente, foram moldados os corpos de prova. A etapa subsequente correspondeu a realização dos ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e resistência a tração na flexão. Por fim, a quinta e última etapa correspondeu a análise de resultados.

3.2. Materiais e caracterização

Os materiais empregados para a realização das moldagens são: areia quartzosa, pigmento a base de óxido de ferro, aditivo redutor de água tipo 2 e cimento branco tipo CEM I 52,5R. A granulometria da areia consta na Tabela 1. O diâmetro máximo obtido foi de 2,38mm, e o módulo e finura de 0,85

Tabela 2 – Granulometria Areia

Abertura das Peneiras (mm)	Areia Fina					
	Ensaio 1	Ensaio 2	Retido Ensaio 1	Retido Ensaio 2	Média	Acum.
			(%)	(%)	(%)	(%)
9,5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
6,3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
4,5	0.0	0.2	0.0	0.1	0.03	0.0
2,38	0.4	0.4	0.1	0.1	0.14	0.2
1,19	0.2	0.2	0.1	0.1	0.08	0.2
0,59	0.9	1.1	0.3	0.4	0.32	0.6
0,297	1.1	1.7	0.4	0.6	0.47	1.0
0,15	247.3	244.9	82.4	81.6	82.03	83.1
0,075 + (FUNDO)	50.1	51.5	16.7	17.2	16.93	100.0
Total (g)	300.03	300.01	100.00	100.00	100.00	-

Fonte: os autores.

3.3. Confecção das amostras e cura

As amostras foram confeccionadas com a mistura em argamassadeira de eixo planetário. O traço conta descrito na Tabela 3

Tabela 3 – Traço utilizado para a moldagem dos exemplares

Materiais	Marca	Traço Unitário
Cimento Branco	OYAK CEMENT – + Super White	1,0
Pigmento Vermelho	Ferrox Color (96-98% Óxido de Ferro)	0,8
Areia Fina	Areia Quartzoza (Módulo de Finura: 1,67)	0%, 2% ou 4%
Água	-	0,2

Fonte: os autores.

Após a definição do traço da argamassa foram moldados os corpos de provas em formato cilíndrico de 5x10cm e prismáticos de 4x4x16cm. Os corpos de provas foram desmoldados após o período de 03 dias e mantidos em ambiente com temperatura constante de 23° e 60% de umidade relativa do ar até o momento dos ensaios.

3.4. Métodos de ensaio

3.4.1 Ensaio de resistência à compressão axial

Devido a inexistência de uma norma especifica para ensaios de resistência a compressão axial em corpos de prova cilíndricos de argamassa, foram utilizados os mesmos princípios do ensaio realizado para corpos de prova de concreto, determinados pela NBR 5739/2018. Foram moldados 6 corpos de provas, que foram submetidos ao ensaio aos 07 e 28 dias de cura

3.4.2 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi conduzido conforme as diretrizes da NBR 7222:2011, utilizando corpos de prova cilíndricos com idades de cura de 7 e 28 dias, com o objetivo de determinar a resistência à tração indireta da argamassa.

3.4.3 Ensaio de resistência à tração na flexão

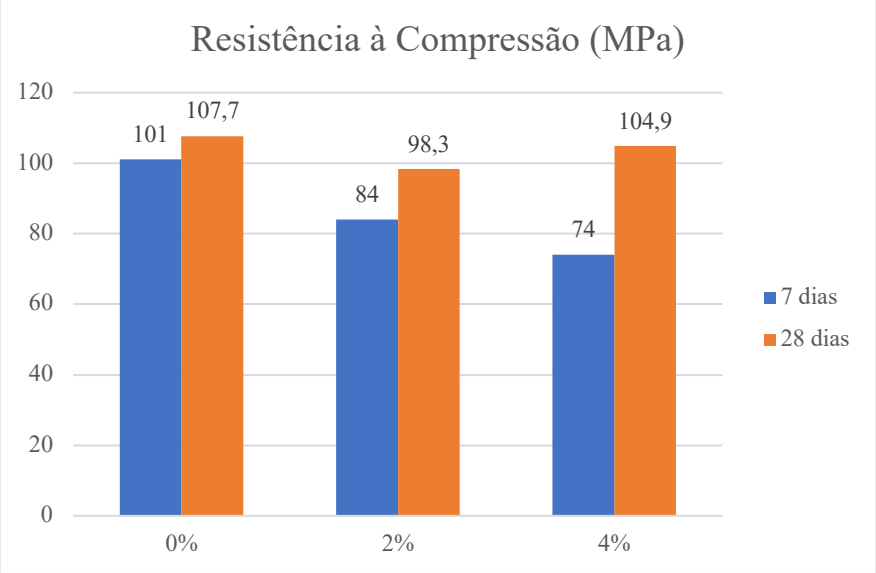
O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado conforme a NBR 13279:2025, utilizando 3 corpos de prova prismáticos com 28 dias de cura, com a finalidade de avaliar o comportamento da argamassa quando submetida a esforços fletores

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Resistência à compressão Axial

Os resultados de resistência à compressão da argamassa são apresentados Figura1

Figura 1 –Resistência a Compressão Axial



Fonte: os autores.

Tabela 4 – Resistência a Compressão Axial (MPa)

TRAÇO	IDADE	RESIST (MPa)	MÉDIA	DESV. PADRÃO (MPa)	COEF. VARIAÇÃO (%)
REF	7DIAS	98,9	101,0	2,31	2,29
		103,5			
		100,6			
	28DIAS	105,6	107,7	4,82	4,47
		113,2			
		104,2			
2%	7DIAS	81,6	84,4	3,37	4,16
		84,1			
		77,4			
	28DIAS	104,3	98,3	5,86	5,96
		98,2			
		92,6			
4%	7DIAS	81,4	74,0	11,96	16,16
		80,6			
		60,0			
	28DIAS	97,2	104,9	7,60	7,25
		105,2			
		112,4			

Foram utilizados três corpos de prova de cada traço para as idades de 7 e 28 dias.De modo geral, os resultados de resistência à compressão demonstram elevada resistência obtida nas idades iniciais diretamente associada ao tipo de cimento empregado, a relação a/c e ao traço utilizado. Com a incorporação das adições de 2% e 4%, verificou-se uma redução na resistência inicial, possivelmente devido à interferência dessas partículas no empacotamento e a hidratação, concordando com os resultados obtidos em Pyeon et al (2022). No entanto, ao longo do tempo, especialmente aos 28 dias, há um ganho significativo de resistência, chamando atenção para a composição com 4%, que se aproximou dos valores da referência.

Figura 2 – Exemplares rompidos

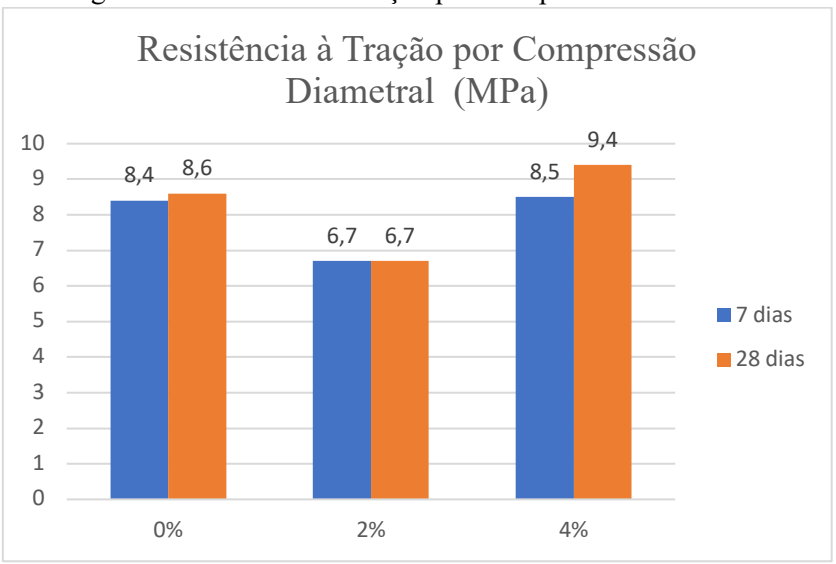


Fonte: os autores.

4.2 Resistência a tração por compressão diametral

Os resultados de resistência à tração por compressão diametral são apresentados Figura 3.

Figura 3 –Resistência a Tração por Compressão Diametral



Fonte: os autores.

Tabela 5– Resistência a Tração por Compressão Diametral

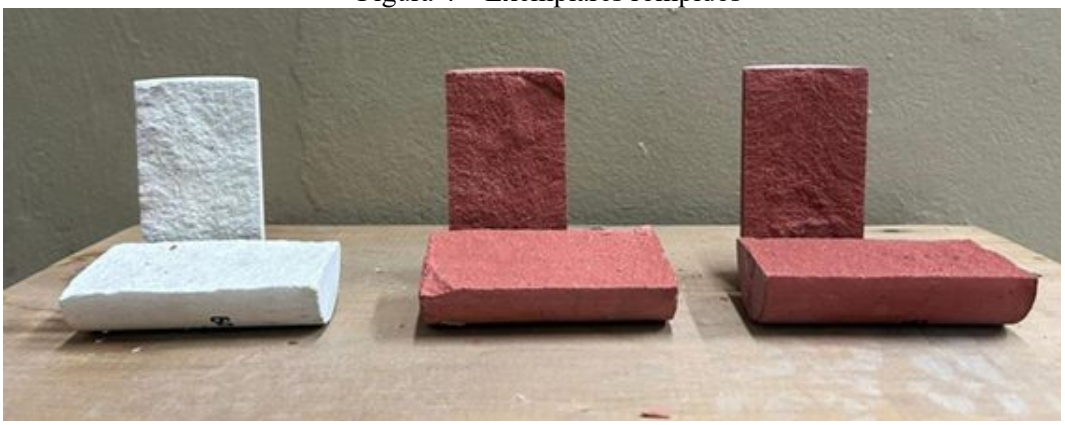
TRAÇO	IDADE	RESIST (MPa)	MÉDIA	DESV. PADRÃO (MPa)	COEF. VARIAÇÃO (%)
REF	7DIAS	6,8	8,4	1,46	17,34
		9,1			
		9,5			
	28DIAS	9,1	8,6	2,73	31,74
		5,6			
		11,0			
2%	7DIAS	5,9	6,7	1,33	19,85
		8,2			
		5,9			
	28DIAS	5,4	6,7	2,13	31,79
		5,5			
		9,2			
4%	7DIAS	10,1	8,5	2,60	30,59
		5,5			
		9,9			
	28DIAS	8,7	9,4	2,28	24,26
		11,9			
		7,5			

Para o traço com 2%, verifica-se uma redução significativa da resistência e, diferentemente das demais, não há ganho ao longo do tempo, mantendo-se praticamente constante entre 7 e 28 dias. Esse comportamento pode indicar que esse teor de adição interfere negativamente na coesão da matriz e na transferência de tensões, prejudicando o desempenho à tração. Por outro lado, a composição com 4% apresenta um comportamento mais favorável, com resistência aos 7 dias próxima à da referência e um ganho expressivo aos 28 dias, superando inclusive a mistura sem adição. Entretanto, cabe destacar o coeficiente de variação desse traço.

Pyeon et al (2022) citam a possibilidade de ganhos em idades elevadas, a depender-se da natureza do pigmento. Esse resultado sugere que, nesse teor, a adição pode estar contribuindo para uma melhor distribuição de tensões internas ou para o refinamento da microestrutura, favorecendo o desempenho à tração.

Os resultados obtidos apresentam concordância com Lee, Lee e Yu (2003) que avaliam, para além da boa coloração e permanência da cor, um comportamento satisfatório em termos de resistência mecânica.

Figura 4 – Exemplares rompidos

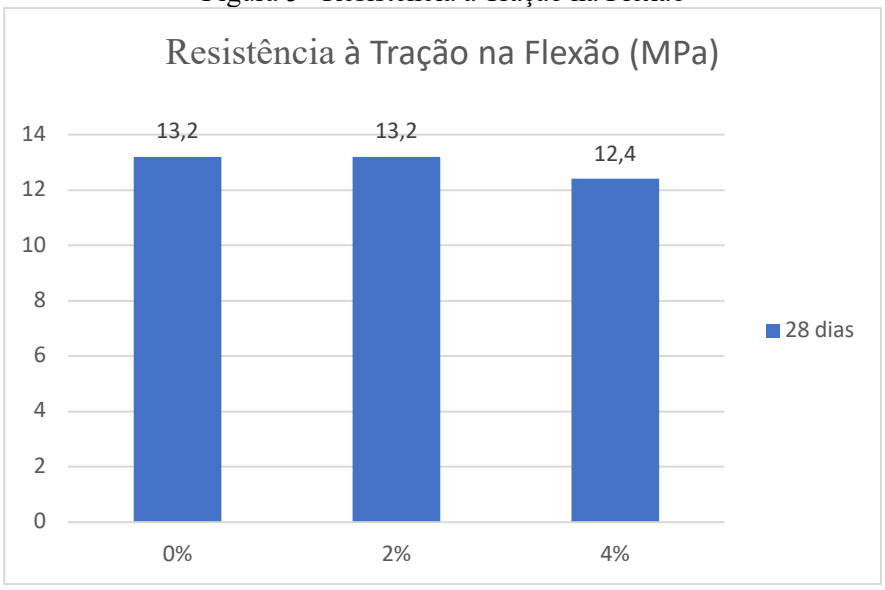


Fonte: os autores.

4.3 Resistência a tração na flexão

Os resultados de resistência à tração na flexão são apresentados Figura 5

Figura 5 –Resistência à Tração na Flexão



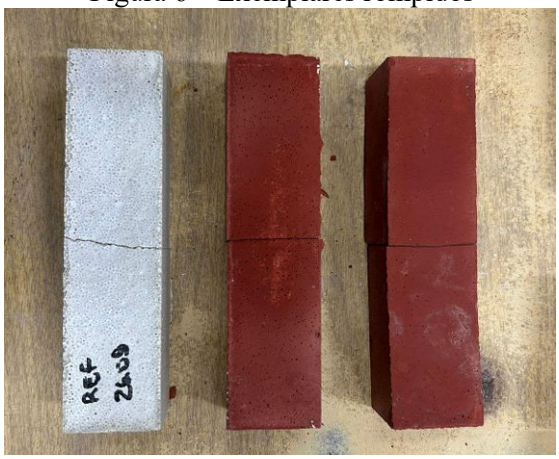
Fonte: os autores.

Tabela 6 – Resistência a Tração por Compressão Diametral

TRAÇO	IDADE	RESIST (MPa)	MÉDIA	DESV. PADRÃO (MPa)	COEF. VARIAÇÃO (%)
REF	28DIAS	13,1	13,2	0,12	0,87
		13,3			
		13,1			
2%	28DIAS	12,8	13,2	0,64	4,86
		13,9			
		12,8			
4%	28DIAS	12,8	12,4	1,68	13,55
		13,9			
		10,6			

Com base na Figura 5 e na tabela 6 percebe-se que a incorporação das adições não promove ganhos significativos de desempenho em relação à mistura de referência, apresentando, inclusive, uma leve tendência de redução com o aumento do teor. A composição de referência e a composição com 2% de pigmento apresentaram valores médios de resistência à tração na flexão semelhantes. Embora o coeficiente de variação do traço com pigmento tenha sido mais elevado, os resultados indicam que, nesse teor de adição, o pigmento não interferiu de maneira significativa no comportamento mecânico do material à tração na flexão. Entretanto, a maior dispersão dos resultados sugere que a distribuição do pigmento na mistura pode ter influenciado a homogeneidade do concreto. Por outro lado, a composição com 4% apresenta uma redução na resistência, evidenciando que teores mais elevados da adição podem impactar negativamente o desempenho à flexão.

Figura 6 – Exemplares rompidos



Fonte: os autores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar o conjunto de resultados obtido, é possível concluir que a incorporação de pigmentos no traço usado no estudo possui influência de maneira distinta as propriedades mecânicas, dependendo do teor utilizado e da idade de cura. De modo geral, observa-se que a presença do pigmento tende a reduzir a resistência à compressão em idades iniciais, efeito amplamente relatado na literatura. No entanto, aos 28 dias, especialmente para o teor de 4%, houve uma

recuperação significativa da resistência, aproximando-se dos valores da mistura de referência, o que pode ocorrer por conta do efeito filler auxiliando no empacotamento da matriz para a resistência à tração por compressão diametral, verificou-se que o comportamento não é linear. Já na resistência à tração na flexão, os resultados indicam que a adição não promove ganhos significativos, mantendo-se equivalente à referência para 2% e apresentando leve redução para 4%, o que está em de acordo com estudos que apontam que teores mais elevados de pigmento podem aumentar a porosidade ou prejudicar a aderência na matriz cimentícia.

Dessa forma, conclui-se que, assim como reforçado pela literatura, o uso de pigmentos em argamassas de alta resistência é viável do ponto de vista mecânico, desde que utilizado em teores adequados. Considerando que os ensaios foram realizados com um número reduzido de corpos de provas, recomenda-se a realização de ensaios complementares com maior abrangência e rigor experimental, com o objetivo de reduzir o coeficiente de variação e estabelecer conclusões mais precisas e aprofundadas sobre a influência dos pigmentos nas propriedades das argamassas pigmentas com óxido de ferro. Além disso, os resultados obtidos são específicos para a composição avaliada, não podendo ser extrapolada para outros traços.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 13281-1: Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios. Parte 01: Argamassas para revestimento de paredes e tetos**. Rio de Janeiro, 2023.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

ANDREATTA, G. L.; ALVES, M.; VOZINIAK. R.; MACIOSKI G.; MEDEIROS, A. **Estudo comparativo da resistência e coloração de argamassas dosadas com pigmentos em pó e líquidos.** Anais do 58° Congresso Brasileiro do Concentro – CBC 20. Belo Horizonte, 2016.

BONDIOLI, F.; MANFREDINI, T.; OLIVEIRA, A. P. NOVAES. **Pigmentos inorgânicos: projeto, produção a aplicação industrial.** Cerâmica industrial, v. 3, n°4-6, 1998.

CONCEIÇÃO, L. B. **Estudo da tecnologia e aplicação do concreto colorido em habitações de interesse social.** 2015. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

DI SESSA, G. A.; OLIVEIRA, A. M. **Influência do teor de pigmentos inorgânicos nas propriedades físico-mecânicas e de durabilidade de concretos de cimento Portland branco.** REUCP, v. 13, n° 1, 2019. 19

GONÇALVES, D. P. F**. Concreto pigmentado aparente: Recomendações para o processo de projeto arquitetônico.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, 2019.

LEE, H.S; LEE, J.Y; YU, M.Y. **Influence of inorganic pigments on the fluidity of cement mortars**. Cement and Concrete Research, 35(4):703 – 710, 2005

LEE, H.S; LEE, J.Y; YU, M.Y. **Influence of iron oxide pigments on the properties of concrete interlocking blocks**, Cement and Concrete Research, Volume 33, Issue 11, 2003,

OLIVEIRA, G. F. F.; SOUZA, E. J.; GOMES, A. J. L. **Study of the technical feasibility of using colored mortar for wall cladding**. International Journal of Geoscience, Engineering and Technology, v. 07, n° 01, páginas 08 – 15, 2023. Disponível em: https://revistas.ufvjm.edu.br/ijget/article/view/508

PAIVA, B. S.; LIMA, J. M.; MORAES, T. S. O.; SOUSA, B. H. N.; VIEIRA, G. A. F.; GOMES, D. T. **A influência de pigmentos nas propriedades de argamassas de Cimento Portland**. Anais da Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia 2017- IBMEC, 2017.

PASSUELO, A**. Análise de parâmetros influentes na cromaticidade e no comportamento mecânico de concretos à base de cimento branco**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

PYEON, S.; KIM, G.; CHOE, G.; PARK, N.; JEONG, D.; CHOI, B.; KIM, M.; NAM, J. Compressive-Strength Analysis of High-Strength Cementitious Composites Mixed with Red and Green Pigments. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 7667.

PIOVESAN, A. Z. **Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

STRINGARI, D. **Análise da atividade pozolânica em argamassas contendo rejeitos de cerâmica vermelha em substituição parcial do cimento Portland**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2015. 20

VEIGA, M. R.; VELOSA, A. L; TAVARES, M. **A cor das argamassas**. Revista Construção Magazine, n° 25, maio de 2008.

CAPÍTULO 46 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/0et09x08
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/dca2mx12

PAINÉIS DE VEDAÇÃO FEITOS DE BAMBU: Ensaios de durabilidade dos bambus inseridos em matriz cimentícia

Anelizabete A. Teixeira Pazini[1]*; Enio José Pazini Figueiredo[2]; Jaime Gonçalves de Almeida[3]
*Autor de contato: anelizabete@gmail.com
[1] NUPMAT/UEG, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, Brasil; PPGEC, Universidade Federal de Catalão, Catalão, GO, Brasil
[2] PPGEC, Universidade Federal de Catalão, Catalão, GO, Brasil; Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil
[3] CPAB/UnB, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil

RESUMO

Esta pesquisa busca avaliar o bambu como material de construção, aplicado na forma de painéis pré-fabricados, mineralizados e revestidos com argamassa nas faces externa e interna, visando o seu emprego em habitações econômicas. O principal objetivo foi desenvolver um painel de vedação, sustentável e de baixo custo, capaz de substituir vedações tradicionais como a cerâmica, madeira e o concreto e de contribuir com a problemática ambiental na indústria da construção civil. A metodologia adotada parte de uma revisão da literatura sobre os bambus e baseia-se na realização de avaliações de desempenho e de durabilidade dos painéis por meio de ensaios físicos de umidade e densidade e de ensaios mecânicos de resistência à compressão, flexão e aderência da argamassa de revestimento, em painéis de bambus nos estados *in natura*, envelhecidos de forma natural e envelhecidos de forma acelerada. Por meio da metodologia adotada foi possível comprovar a eficácia e a possibilidade de uso do bambu em painéis argamassados para vedação vertical de habitações económicas, principal problemática investigada na pesquisa.

Palavras-Chave: Bambu; Painéis de vedação; Durabilidade.

ABSTRACT

This research aims to evaluate bamboo as a construction material—specifically in the form of prefabricated, mineralized panels coated with mortar on both their exterior and interior faces—for use in low-cost housing. The primary objective was to develop a sustainable, low-cost wall panel capable of replacing traditional walling materials (such as ceramic, wood, and concrete) and addressing environmental issues within the construction industry. The methodology began with a literature review on bamboo and involved performance and durability assessments. These assessments utilized physical tests (moisture and density) and mechanical tests (compressive strength, flexural strength, and mortar-coating bond strength) on bamboo panels in three conditions: "in natura", naturally aged, and artificially aged. The study successfully demonstrated the effectiveness and viability of using bamboo in mortar-coated panels for the vertical walls of low-cost housing, thereby addressing the central issue investigated in the research.

Keywords: *Bamboo; Wall panels; Durability.*

1. INTRODUÇÃO

O tema escolhido para esta pesquisa parte da necessidade de se inserir, na indústria da construção civil, o uso de um material sustentável como o bambu, afim de comprovar a eficácia dessa matéria-prima natural, tropical e que pode ser durável, caso seja tratada, na substituição ou complementação de materiais construtivos convencionais de alto impacto ambiental, conferindo segurança e qualidade às edificações. Diante do exposto, justifica-se a realização de estudos científicos relacionados à produção pré-fabricada de componentes construtivos em bambu, bem como às suas propriedades físico-mecânicas e construtivas, fundamentais para comprovar seu potencial tecnológico e construtivo no atual panorama da construção civil brasileira. Considera-se o momento oportuno em que a indústria da construção civil abre espaço para novos materiais, em busca de construções mais sustentáveis. O bambu, por sua vez, surge como um excelente material capaz de contribuir para a redução do uso da cerâmica, madeira e concreto, em painéis de vedação.

Um dos principais objetivos deste estudo foi propor um painel de vedação vertical para habitações econômicas, pré-fabricado e revestido de argamassa, que utiliza como estrutura interna uma matriz vegetal e natural. Colmos de bambu da espécie *Bambusa tuldoides* foram utilizados como estrutura interna de painéis argamassados, desempenhando uma função importante no componente construtivo proposto. Buscou-se substituir as matrizes cerâmicas, de madeira e cimentícias, geralmente utilizadas como base de sistemas de vedação vertical, por uma matriz feita de bambu, com a intenção de promover o uso de materiais de baixo impacto ambiental, de forma sistematizada, em habitações econômicas.

Neste artigo, apresenta-se, inicialmente, o projeto arquitetônico dos painéis de bambu, bem como o processo tecnológico e construtivo de sua produção. Os painéis de bambu foram submetidos a processos de envelhecimento, tanto natural quanto acelerado, os quais possibilitaram a avaliação do desempenho, da durabilidade e da vida útil destes painéis. Foram realizados ensaios físicos de densidade, bem como ensaios mecânicos de resistência à compressão, flexão e aderência da argamassa de revestimento. Por meio da metodologia adotada, foi possível simular o envelhecimento natural por meio do envelhecimento acelerado, permitindo estimar a vida útil dos painéis de bambu inseridos em matriz cimentícia em relação à resistência de aderência da argamassa de revestimento. Vale ressaltar que trata-se de um trabalho do campo da Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, que visa contribuir para a avaliação da durabilidade de um sistema construtivo feito com bambu, apresentado de forma inédita no contexto da Patologia das Construções.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A importância ambiental do bambu e seu uso no brasil

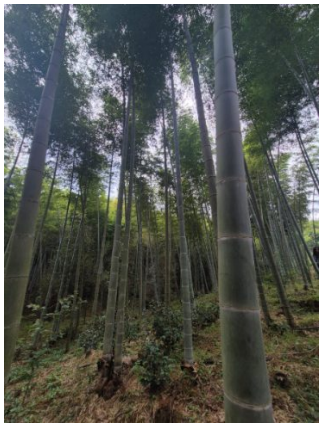
Historicamente o bambu tem acompanhado o homem desde a pré-história e seu uso está presente na cultura de praticamente todos os povos primitivos, de todos os continentes. Com o crescente desmatamento e o aumento da pressão exercida sobre as florestas tropicais, bem como sobre as áreas de reflorestamento, torna-se cada vez mais necessária a busca por materiais renováveis e por soluções alternativas capazes de atenuar esse processo predatório. Lee *et al* (1994) comentam que, com o decréscimo da quantidade e qualidade dos recursos florestais, tem aumentado o interesse pela busca de materiais renováveis e de baixo custo, como é o caso dos bambus. Atualmente,

estima-se que esta planta contribua para a subsistência, geração de renda ou moradia de mais de um 2,2 bilhões de pessoas, em todo o mundo (TEIXEIRA e MARÇAL, 2025).

De acordo com Jaramillo (1992), o bambu é uma planta tropical, perene e renovável, que produz colmos anualmente sem a necessidade de replantio (Figura 1). Seus colmos se renovam em menor intervalo de tempo, não havendo nenhuma outra espécie florestal que possa competir em velocidade de crescimento e de aproveitamento por área, apresentando-se como uma planta de grande potencial agrícola. Além de ser eficiente seqüestrador de carbono, os bambus podem ser utilizados em reflorestamentos, na recomposição de matas ciliares e como um protetor e regenerador ambiental. Os bambus são também reconhecidos por ser uma importante alternativa energética, devido ao volume excepcional de biomassa produzida, tanto quanto a madeira. Pode ser aproveitado tanto na queima direta como na produção de carvão, inclusive carvão ativado.

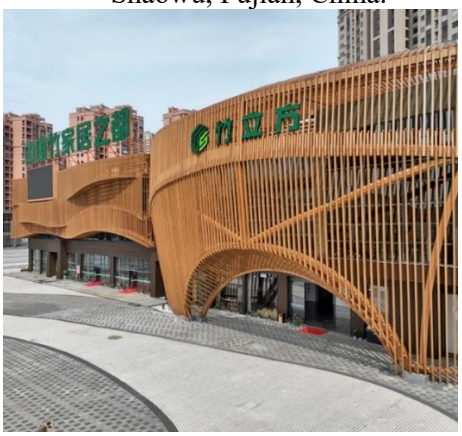
Esta planta apresenta excelentes características físicas, químicas, mecânicas e construtivas, o que a torna um material de construção de grande qualidade e versatilidade. Devido à sua grande flexibilidade, o bambu é muito utilizado em regiões sujeitas a abalos sísmicos, principalmente na Ásia e América Latina. Em especial na Ásia, e em alguns países como a Colômbia, Costa Rica, Brasil e Equador, o bambu é muito utilizado na construção de edificações, que vão desde uma simples habitação econômica até edifícios de vários pavimentos. Tem-se como um importante exemplar deste tipo de edificação o "Bamboo Cubic Green", construído em Shaowu, Fujian, China, construção premiada mundialmente pelo French Design Award e o American Muse Design Award 2023, com 16,86 metros de altura e uma fachada envolta em uma estrutura única de bambu engenheirado, a mais alta do mundo, como mostra a Figura 2. Estruturas de bambu como estas, são capazes de demonstrar o imenso potencial do bambu em inovação e tecnologia, na área da arquitetura e da construção civil.

Figura 1 -Bambus na região de Fujian, China.



Fonte: Arquivo do autor, 2025.

Figura 2 - Edificação "Bamboo Cubic Green", em Shaowu, Fujian, China.



Fonte: Arquivo do autor, 2025.

O Brasil detém uma das maiores reservas de bambu nativo do mundo, estimadas em 9,6 milhões de hectares, sendo cerca de 80% em áreas nativas (EMBRAPA, 2024). Essa base confere posição estratégica ao país, mas o potencial econômico e ambiental permanece subaproveitado (INBAR, 2024a; 2024b). Na Amazônia Ocidental, destacam-se extensas formações do gênero *Guadua*, especialmente no Acre e Amazonas. No Acre, o Zoneamento Ecológico-Econômico indica ocorrência de bambu em 70% do território e classifica 10% como "Florestas Abertas com Bambu Dominante", o que corresponde a 161.500 km². Essas formações prestam serviços ecossistêmicos

relevantes, incluindo sequestro aproximado de 1,5 t CO_2/ha/ano, estabilização de solos e suporte à fauna (ICMBio, 2023; EMBRAPA, 2024; INBAR, 2024b).

A normalização para uso do bambu na construção civil, no Brasil, avançou com a ABNT NBR 16828-1 e 16828-2 (2020), que padronizam o uso estrutural do bambu, fortalecendo a confiabilidade para mercado e compras públicas (INBAR, 2024a; 2024b). Esse marco abre espaço para elementos estruturais, painéis de bambu laminado colado (BLB/GLB) e soluções urbanas vinculadas a cidades verdes (DRUMOND; WIEDMAN, 2017), como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Parada de ônibus, feita de bambu laminado colado, instalada na UnB/Brasília/DF.



Fonte: Arquivo do autor, 2023.

Pode-se enumerar uma série de exemplos representativos de aplicações de bambu no Brasil, com bases técnicas e políticas associadas, como segue:

A) Habitação modular em *Guadua* de aproximadamente 60 m², baixo custo relativo, com diretrizes de projeto e mão de obra local, realizada pela EMBRAPA Amazônia Ocidental e UnB. Projeto em aderência com habitação social e infraestrutura leve, metas de baixo carbono e ODS (INBAR, 2024a).

B) Elementos estruturais e painéis laminados (BLB/GLB) para coberturas e mobiliário urbano; orientação por normas ABNT e boas práticas, favorecendo PPPs e especificação técnica em obras públicas (INBAR, 2024a; DRUMOND; WIEDMAN, 2017), ilustrado pela Figura 3.

C) Pellets de biomassa de bambu para uso térmico industrial, substituindo lenha/eucalipto em cerâmicas e agroindústrias, integráveis a metas de descarbonização (INBAR, 2024a; EMBRAPA, 2023).

D) Bioembalagens biodegradáveis e biocompósitos (fibras de bambu em matrizes poliméricas) para bens duráveis; requerem transferência tecnológica e linhas de crédito para moldes e extrusão (EMBRAPA, 2024; INBAR, 2024a).

E) Extratos e bioativos com propriedades antibacterianas (rota para cosméticos e saneamento), sujeitos a validação regulatória e repartição de benefícios 15 (literatura técnica acadêmica citada nos anexos internos; DRUMOND; WIEDMAN, 2017).

F) Fitorremediação com Bambusa vulgaris em áreas degradadas, conectando restauração produtiva e possíveis mecanismos de PSA/ARR (INBAR, 2024a; 2024b).

G) Alimentação (broto de bambu) com potencial de cadeias curtas e nichos gastronômicos, mediante BPF e inspeção sanitária (DRUMOND; WIEDMAN, 2017), dentre outras aplicações.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Seleção dos bambus utilizados para a confecção dos painéis

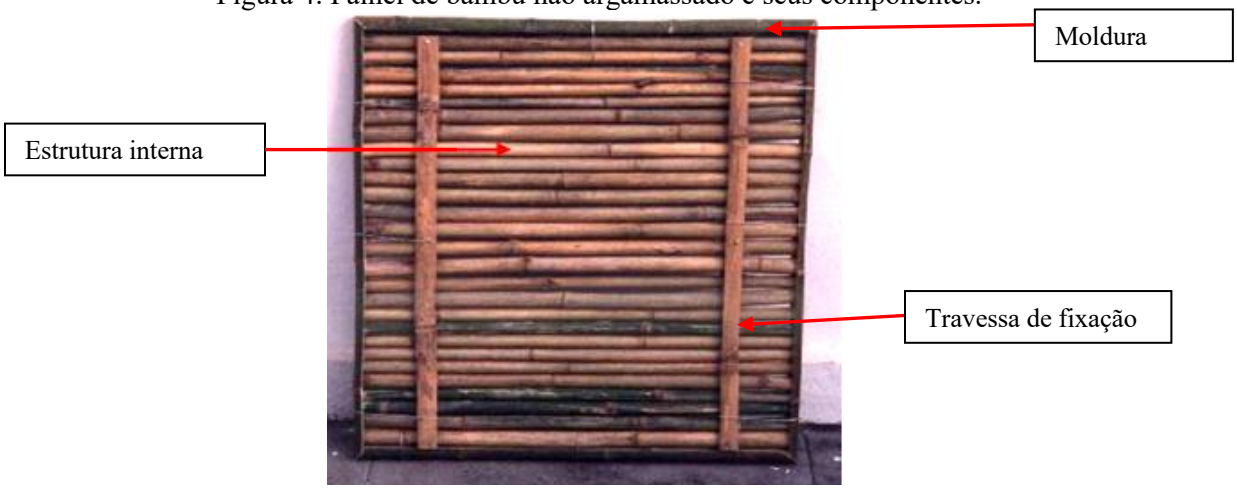
Amostras dos bambus da espécie *Bambusa tuldoides*, alvo principal da presente pesquisa, utilizadas na estrutura interna dos painéis (Figura 4), foram destinadas à caracterização de umidade, densidade, resistência à compressão paralela às fibras (sem nós e com nós) e resistência à flexão paralela às fibras (sem nós e com nós).

Os colmos de bambu das espécies escolhidas foram selecionados diretamente na touceira. Apenas bambus maduros, com mais de três anos de idade, foram cortados. As partes medianas do colmo foram selecionadas e as partes basal e superior foram descartadas. Outro aspecto relevante no momento da seleção do colmo foi a padronização dos diâmetros, buscando-se cortar colmos com diâmetros aproximadamente iguais, especialmente da espécie *Bambusa tuldoides*, empregado na estrutura interna do painel.

3.2. Produção dos painéis de bambu (envelhecimento natural)

Durante a pesquisa de Mestrado de Teixeira (2006), diversos painéis de bambu foram produzidos, o que permitiu o desenvolvimento de avaliações posteriores e ensaios investigativos sobre a durabilidade do bambu e dos painéis. Foram produzidos seis painéis de bambu, com dimensões de 1,00 m x 1,00 m x 0,06 m, confeccionados com bambus das espécies *Bambusa tuldoides* (na estrutura interna), *Phyllostachys bambusoides* (nas molduras) e *Dendrocalamus giganteus* (nas travessas verticais para travamento do painel). A Figura 4 mostra o painel sem argamassa de revestimento, com a identificação dos elementos de bambu que compõem o painel.

Figura 4: Painel de bambu não argamassado e seus componentes.



Fonte: Teixeira, 2013.

A mineralização foi o procedimento de tratamento realizado logo após o término da montagem das estruturas de bambu, a qual consiste na preparação de uma solução de silicato de sódio. Esta solução, quando aplicada às fibras vegetais, ajuda a eliminar o efeito da absorção de água pelos bambus. Após a mineralização das estruturas de bambu, elas foram revestidas com uma argamassa de traço 1:3:0,1 (cimento Portland CP II-F: areia artificial: adesivo acrílico), como chapisco.

Após a aplicação e secagem do chapisco, a argamassa de acabamento/revestimento foi dosada e aplicada cuidadosamente para garantir boa aderência aos painéis de bambu. A argamassa de revestimento, com traço de 1:0,5:4 (cimento Portland CP II-F: cal hidratada: areia de rio), foi preparada em betoneira e aplicada nos painéis. A partir dessa proporção, obteve-se uma argamassa de consistência firme, pronta para ser aplicada nas estruturas de bambu. A espessura da argamassa

deve ser suficiente para cobrir toda a estrutura de bambu do painel, deixando apenas as molduras de bambu expostas, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Painel de bambu argamassado, após a secagem da argamassa de revestimento (a); Detalhe do painel de bambu com as molduras aparentes (b).



(a) Fonte: Teixeira, 2006. (b)

O processo de envelhecimento natural ocorreu por meio da exposição dos painéis de bambu às intempéries durante um período de seis anos, caracterizando um teste de longo prazo. Estes painéis foram utilizados para a caracterização mecânica dos bambus após o envelhecimento natural e para a avaliação da aderência das argamassas de revestimento, na condição de "envelhecimento natural".

3.3. Produção dos painéis de bambu (envelhecimento acelerado)

Os painéis apresentados neste Item, foram desenvolvidos exclusivamente para possibilitar a realização dos ensaios de envelhecimento acelerado em painéis de bambu argamassados. A produção destes painéis se deu a partir de bambus da espécie *Bambusa tuldoides* como material construtivo da estrutura interna dos painéis e da espécie *Dendrocalamus giganteus* escolhida para a confecção das molduras. Fez-se necessária a produção de seis painéis de bambu, com dimensões de 0,60m x 0,60m x 0,06m. De acordo com a Figura 6, pode-se compreender o processo de produção destes painéis, que seguiu as seguintes etapas: Montagem dos painéis (a), processo de mineralização (b), aplicação de chapisco (c) e aplicação da argamassa de revestimento nas duas faces do painel (d). A composição e traço do chapisco e da argamassa de revestimento foram as mesmas empregadas nos painéis destinados ao envelhecimento natural (Item 3.2).

Figura 6: Processo de produção dos painéis de bambu para envelhecimento acelerado.



(a) (b)




(c) Fonte: Teixeira, 2013. (d)

Somente após a secagem da argamassa de revestimento os seis painéis foram submetidos ao processo de envelhecimento acelerado, passando por ciclo de molhagens e secagens em estufa, em ambiente laboratorial e seguindo normas técnicas, como mostra a Figura 7.

O processo de envelhecimento acelerado dos painéis ocorreu por meio de seis ciclos de umedecimento e secagem, caracterizando um teste de curto prazo. A secagem foi feita em um forno com temperatura de (71 ± 2) ˚C. O tempo de umedecimento em cada ciclo foi de 24 horas e o tempo de secagem em cada ciclo foi de 48 horas. Após a realização deste procedimento, foi possível fazer considerações sobre o desempenho, a durabilidade e a previsão da vida útil dos painéis de bambu, por meio de ensaios densidade, resistência à compressão paralela às fibras, resistência à flexão perpendicular às fibras e aderência da argamassa de revestimento sobre a estrutura interna de bambu.

Figura 7: Painéis de bambu prontos para o processo de envelhecimento acelerado.



Fonte: Teixeira, 2013.

3.4. Avaliações relativas à durabilidade

Toda a pesquisa foi baseada em avaliações experimentais, com base em ensaios padronizados e procedimentos laboratoriais. No entanto, alguns procedimentos experimentais foram adaptados às particularidades da espécie de bambu utilizada e às condições tecnológicas dos laboratórios. A avaliação da durabilidade dos painéis de bambu foi realizada comparando os resultados obtidos nas seguintes condições:

A) Painéis **não envelhecidos** (*in natura*) feitos com colmos de bambu;

B) Painéis **envelhecidos naturalmente** feitos com bambus mineralizados, expostos às intempéries (sol, vento, chuva e poluição), por um período de 6 (seis) anos;

C) Painéis de bambu com argamassa, submetidos a processo de **envelhecimento acelerado**, de acordo com os procedimentos da NBR 13554 (ABNT, 1996), e bambus mineralizados extraídos desses painéis.

A metodologia proposta visa investigar a durabilidade de bambus da espécie *Bambusa tuldoides,* mediante a comparação dos resultados de densidade, resistência à compressão paralela às fibras e resistência à flexão perpendicular às fibras, de amostras de bambu *in natura*, de amostras retiradas de painéis envelhecidos naturalmente e de amostras retiradas de painéis envelhecidos aceleradamente. A avaliação da durabilidade dos painéis foi feita a partir dos resultados de resistência de aderência da argamassa de revestimento sobre a estrutura interna dos bambus, apoiando-se nos resultados de durabilidade dos bambus embutidos nos painéis.

Para a realização dos ensaios de **densidade** foram preparados 24 corpos de prova, a partir da parte mediana de colmos de bambus maduros e secos ao ar, sendo 12 (doze) corpos de prova sem nós e 12 (doze) com nós. Os colmos foram serrados em serra elétrica e o comprimento dos corpos de prova foi dado pela equivalência (aproximada) ao diâmetro da peça, de acordo a NBR 7190 (ABNT, 1997). A densidade é uma característica importante para o projeto de estruturas de bambu, pois tem relação direta com o peso das peças e com as respectivas cargas atuantes nas estruturas. Neste ensaio buscou-se conhecer a densidade do bambu natural, saturado e seco em estufa, como ilustra parcialmente a Figura 8.

Figura 8: Ensaios de densidade dos bambus.



Fonte: Teixeira, 2013.

Para os ensaios de **resistência à compressão paralela às fibras** foram preparados vinte e quatro (24) corpos-de-prova, feitos da parte mediana de colmos *in natura* de bambus da espécie *Bambusa tuldoides*, sendo que 12 (doze) corpos de prova tinham os nós e outros 12 (doze) corpos de prova não os continham (Figura 9). Quanto ao comprimento dos corpos de prova, este foi dado pela medida de duas vezes o diâmetro (h= Ø x 2), de acordo o Item B.5 da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Figura 9 - Ensaios de resistência à compressão



Fonte: Arquivo do autor, 2013.

Com relação à **resistência à flexão perpendicular às fibras** foram preparados vinte e quatro (24) corpos de prova retirados da parte mediana dos colmos, sendo que 12 (doze) tinham nó no local da aplicação da carga, e os outros 12 (doze) não continham nó no local de aplicação da carga. Quanto

ao comprimento das peças, adotou-se a medida de 88 centímetros de comprimento, com base nas diretrizes da NBR 7190 (ABNT,1997), Item B.14, que prevê que o comprimento deve ser 23 vezes a medida do diâmetro do corpo de prova. A Figura 10 demonstra o procedimento dos ensaios laboratoriais.

Figura 10 - Ensaios de resistência à tração



Fonte: Arquivo do autor, 2013.

Os ensaios de **resistência de aderência à tração da argamassa**, preconizados pela NBR 13.528 (ABNT, 1995), foram realizados nos seis painéis de bambus envelhecidos de forma natural (Dissertação de Mestrado de Teixeira, 2006) e nos seis painéis de bambu envelhecidos de forma acelerada (Tese de Doutorado de Teixeira, 2013), a fim de obter os resultados da tensão média de ruptura da argamassa e da forma de ruptura. De acordo com os procedimentos do ensaio, foram coladas pastilhas metálicas com adesivo estrutural epoxídico de média fluidez, nos painéis envelhecidos de forma natural e acelerada. As pastilhas foram dispostas em apenas uma das faces do painel e após o período de 24 horas para secagem do adesivo, iniciou-se o ensaio de resistência de aderência à tração, com o uso do equipamento DYNA PROCEQ – pull-of tester Z-16. A Figura 11 ilustra um dos painéis com as pastilhas coladas, preparado para a realização do ensaio.

Figura 11 - Ensaios aderência à tração da argamassa de revestimento dos painéis de bambu.



Fonte: Arquivo do autor, 2013.

A seguir, serão apresentados alguns resultados dos ensaios realizados nas condições A, B e C, conforme citado no início deste Item 3.4, bem como os resultados de desempenho e vida útil de bambus inseridos em painéis de argamassa após envelhecimento natural e acelerado. Através de análises comparativas e estatísticas, foi possível desenvolver uma discussão sobre o desempenho de painéis de bambu com argamassa e sobre a estimativa da vida útil deste componente construtivo. Os bambus foram avaliados com base nos resultados de densidade, de compressão paralela às fibras, flexão perpendicular às fibras e aderência à tração da argamassa de revestimento.

4. RESULTADOS

O Quadro 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados nos Bambus *in natura*, Bambus envelhecidos naturalmente e Bambus envelhecidos aceleradamente, sem nós e com nós.

Quadro 1: Resumo dos resultados dos ensaios de durabilidade dos bambus.

AVALIAÇÕES DE DURABILIDADE	CONDIÇÃO DOS BAMBUS					
	in natura		envelhecidos naturalmente		envelhecidos aceleradamente	
	Sem nó	Com nó	Sem nó	Com nó	Sem nó	Com nó
Densidade (g/cm³)	0,93	0,85	0,62	0,60	0,96	0,74
σ n-1 (desvio padrão da amostra) (g/cm³)	0,190	0,089	0,13	0,20	0,28	0,13
c.v. (coeficiente de variação) (%)	19,94	8,72	20,30	31,73	28,20	16,54
Umidade (%)	6,55	6,68	5,18	5,97	4,01	6,10
σ n-1 (desvio padrão da amostra) (g/cm³)	0,77	0,36	1,39	0,97	0,86	0,79
c.v. (coeficiente de variação) (%)	11,27	5,16	25,61	15,52	20,51	12,47
Resistência à **compressão** paralela às fibras (MPa)	73,30	64,29	40,51	24,51	55,23	45,05
Resistência à **flexão** perpendicular às fibras (Mpa)	90,70	70,00	44,01	31,31	_____	_____
Resistência de **aderência** à tração da argamassa de revestimento (MPa)	Tensão ruptura média: 0,54		Tensão ruptura média: 0,40		Tensão ruptura média: 0,35	

Fonte: Teixeira, 2013.

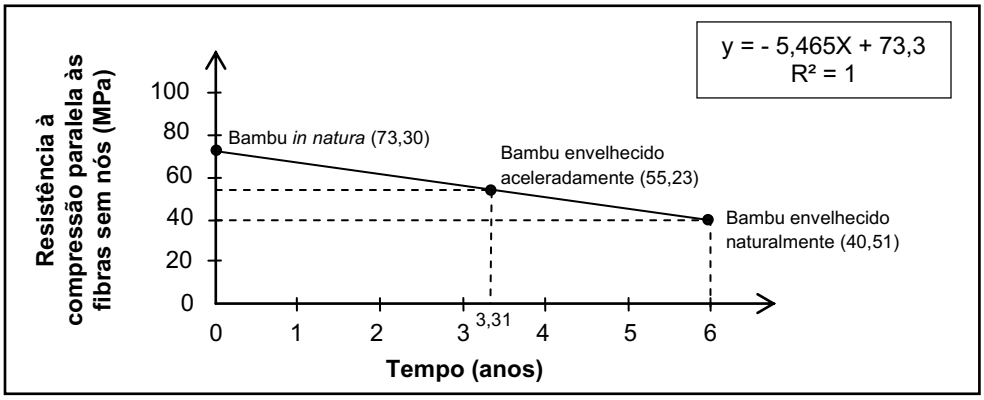
As densidades, umidades, resistência à compressão paralela às fibras, resistência à compressão paralela às fibras e a resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento no **painel envelhecido naturalmente,** apresentadas no Quadro 1, são oriundas da média de resultados obtidos em 12 corpos de prova.

As densidades, umidades, resistência à compressão paralela às fibras, resistência à compressão paralela às fibras **envelhecido aceleradamente,** apresentadas no Quadro 1, são oriundas da média de resultados obtidos em 12 corpos de prova. A resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento no painel envelhecido aceleradamente é oriunda da média de 4 ensaios realizados em cada um dos 6 painéis, totalizando 24 medidas.

4.1. Compressão paralela às fibras

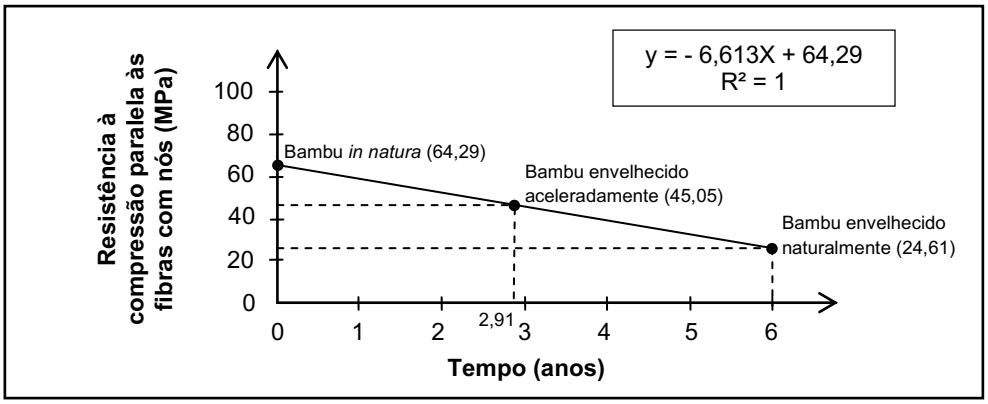
Testes de compressão paralela às fibras foram realizados em amostras de bambu com e sem nós, retiradas de painéis argamassados e submetidas a processos de envelhecimento natural e acelerado. Os resultados obtidos foram comparados com os resultados de resistência à compressão paralela às fibras de bambus *in natura,* e podem ser observados nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Relação linear entre a resistência à compressão paralela às fibras de bambu **sem nós**, no estado natural, envelhecido naturalmente e envelhecido de forma acelerada.



Fonte: Teixeira, 2013.

Figura 13 - Relação linear entre a resistência à compressão paralela às fibras de bambu **com nós**, nos estados *in natura*, envelhecido naturalmente e envelhecido rapidamente.



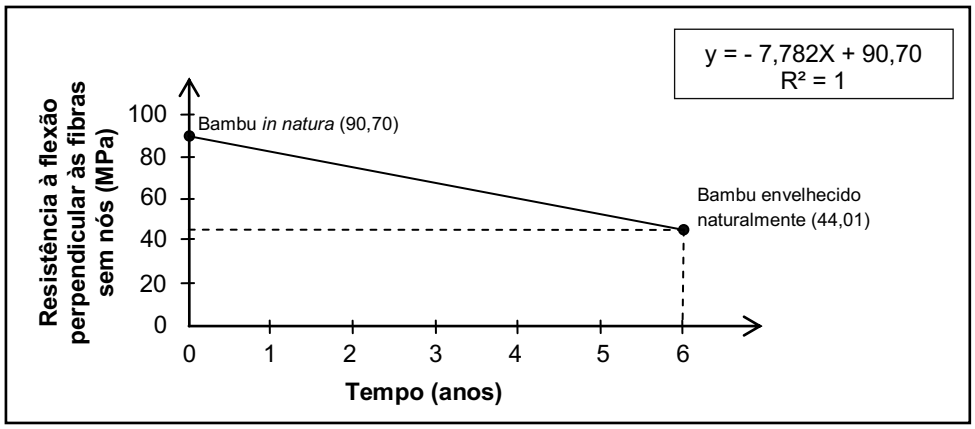
Fonte: Teixeira, 2013.

Considerando a relação linear entre o tempo e a resistência à compressão dos bambus estudados, observa-se que a resistência mecânica dos bambus (com e sem nós) submetidos a processos de envelhecimento natural e acelerado diminuiu ao longo dos anos, e no período de 6 (seis) anos, houve uma perda de 44,74% para as amostras sem nós e de 61,72% para as amostras com nós, a partir dos valores apresentados da Quadro 1. As perdas de resistência observadas podem ser consideradas significativas para o período avaliado. No entanto, os valores obtidos são equivalentes, por exemplo, aos valores de resistência à compressão do concreto convencional, que se situam na faixa de 20 a 30 MPa. Deve-se considerar que os colmos de bambu não atuam isoladamente no painel de vedação, estando inseridos em uma matriz rígida de cimento e bem aderidos a ela, como evidenciado pelos ensaios de aderência à tração da argamassa de revestimento desta pesquisa. A argamassa de revestimento, além de proteger os bambus dos efeitos de fechamento do clima e de microrganismos, confere maior estabilidade estrutural aos painéis, contribuindo para o bom desempenho do componente construtivo de vedação vertical. No que se refere à correlação entre o envelhecimento acelerado e o envelhecimento natural, a introdução da resistência à compressão paralela às fibras obtida após os 6 ciclos de envelhecimento acelerado, passaram a corresponder a 3,31 anos de envelhecimento natural.

4.2. Flexão perpendicular às fibras

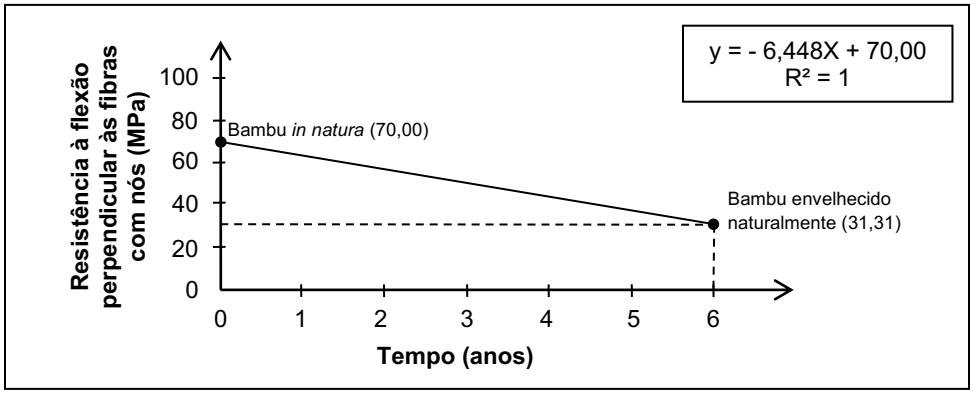
Os testes de flexão perpendicular às fibras foram realizados em colmos de bambu com e sem nós, retiradas de painéis de bambu envelhecidos naturalmente com argamassa. Os resultados obtidos foram comparados com os resultados de flexão perpendicular às fibras de bambus *in natura* e podem ser observados nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 - Relação linear entre o tempo e a resistência à flexão perpendicular às fibras de bambu **sem nós**, nos estados *in natura* e naturalmente envelhecido.



Fonte: Teixeira, 2013.

Figura 15 - Relação linear entre o tempo e a resistência à flexão perpendicular às fibras de bambu **com nós**, nos estados *in natura* e naturalmente envelhecido.



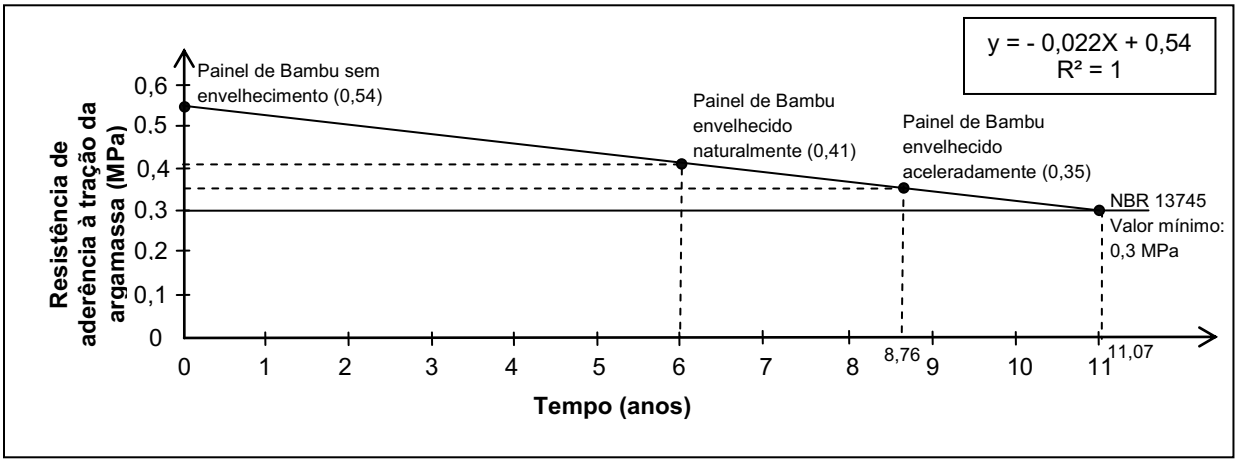
Fonte: Teixeira, 2013.

Segundo Beraldo *et al* (2003), os valores de resistência à flexão para bambus em geral situam-se entre 30 e 170 MPa. Os valores descritos são equivalentes aos resultados obtidos nesta pesquisa, onde os valores característicos encontrados estão na faixa entre 70 e 91 MPa. Ao analisar a relação linear estabelecida entre os resultados de resistência à flexão dos bambus estudados e o tempo (Figuras 14 e 15), observa-se que a resistência mecânica dos bambus envelhecidos naturalmente apresentou uma diminuição significativa ao longo dos anos, com perdas registradas de 51,48% e 55,27%, respectivamente, para amostras sem nós e com nós.

4.3. Aderência à tração da argamassa de revestimento

Uma das principais **manifestações patológicas** observadas em painéis de bambu revestidos com argamassa, em uma situação real de uso, como observado na Colômbia, é o desprendimento de partes da argamassa de revestimento. Esses fragmentos de argamassa causam perda de desempenho ao componente construtivo, permitindo a entrada de umidade e ar, além da redução do desempenho estético do painel. A Figura 16 apresenta a relação entre os resultados obtidos em um painel que não sofreu processo de envelhecimento e os resultados de resistência de adesão obtidos em painéis envelhecidos naturalmente e acelerado.

Figura 16: Relação linear entre o tempo e a resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento.



Fonte: Teixeira, 2013.

Considerando a relação linear entre o tempo e a resistência à tração da argamassa, representada pela Equação (y = - 0,022 x + 0,54), e levando em conta que a NBR 13749 (ABNT, 1996) estabelece um valor mínimo aceitável de 0,30 MPa para a resistência de adesão, é possível prever que, após 11,07 anos de envelhecimento natural, a adesão da argamassa ao painel atingirá o valor mínimo de 0,3 MPa. A utilização desta equação também indica que o processo de envelhecimento acelerado proposto (6 ciclos de umedecimento e secagem) equivale a 8,77 anos de envelhecimento acelerado.

5. CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, diversos painéis de bambu foram produzidos. Estes, por sua vez, foram submetidos a processos de envelhecimento, tanto natural quanto acelerado. Um dos principais objetivos deste procedimento foi avaliar as propriedades físico-mecânicas residuais após os processos de envelhecimento natural e acelerado. Além disso, a metodologia de envelhecimento acelerado adotada foi capaz de simular o envelhecimento natural de painéis de bambu revestidos com argamassa.

Após seis anos de envelhecimento natural, constatou-se que a densidade seca característica, a resistência à compressão paralela às fibras, a resistência à flexão perpendicular às fibras e a aderência à tração da argamassa de revestimento à matriz de bambu diminuíram. Essa diminuição está associada à retração dos colmos de bambu e aos processos de degradação da matriz vegetal, devido ao ataque de microrganismos e à exposição à matriz cimentícia de pH elevado (argamassa de revestimento). Estimativas de perdas residuais das propriedades avaliadas e da vida útil estimada do painel de bambu revestido com argamassa foram obtidas considerando uma relação linear entre o tempo e as propriedades medidas. Além disso, considerando a mesma relação linear entre a

densidade seca característica e as propriedades mecânicas do bambu, por meio de regressão linear, verificou-se a possibilidade de estimar a resistência à compressão e à flexão, com base na densidade seca característica, e vice-versa.

Quando existe algum parâmetro normativo associado a qualquer uma das propriedades avaliadas, como a resistência de aderência da argamassa e a resistência à compressão do elemento construtivo da alvenaria cerâmica, é possível prever a vida útil do painel de bambu argamassado avaliando esses requisitos de desempenho. Assim, como a NBR 13.749 (ABNT, 1996) estabelece um valor mínimo de 0,3 MPa para a resistência de aderência, foi possível prever que, após 11,07 anos de envelhecimento natural, a aderência da argamassa ao painel atingirá o valor normativo de referência (0,3 MPa). Com relação às matrizes cerâmicas da alvenaria de vedação, as normas NBR 15.270-1 (ABNT, 2005) e NBR 7170 (ABNT, 1983) estabelecem uma resistência mínima à compressão de 1,5 MPa para blocos cerâmicos e tijolos maciços. Considerando os resultados obtidos nesta tese e levando em conta uma relação linear entre o tempo e a resistência à compressão, seriam necessários 9,49 anos de envelhecimento natural para que a matriz de bambu natural atingisse o valor de referência normativo (1,5 MPa). Esses dados estimados sobre a vida útil dos painéis de bambu são próximos das estimativas empíricas de 10 a 15 anos citadas por Liese (1987). No entanto, deve-se considerar que os bambus utilizados neste estudo não foram submetidos a procedimentos tradicionais de preservação e imunização, o que levaria a um aumento na vida útil dos bambus.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos orientadores desta pesquisa, Prof. Jaime Almeida (UnB), Prof. José Dafico Alves (UEG) e Prof. Enio Pazini Figueiredo (UFG) pelos ensinamentos e orientações durante todo o processo de desenvolvimento da pesquisa, bem como aos laboratoristas, laboratórios e espaços físicos utilizados, das três instituições de ensino citadas. Agradeço à CAPES pelo apoio e incentivo à pesquisa por meio de Bolsa de Pesquisa Científica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7170. **Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria.** Rio de Janeiro, RJ, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190. **Projeto de Estruturas de Madeira.** Rio de Janeiro, RJ, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.528. **Revestimento de paredes de argamassa inorgânica - Determinação de resistência de aderência à tração. Parte 1 - Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, RJ, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.554: **Solo-Cimento - Ensaio de Durabilidade por molhagem e secagem - Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.749: **Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Especificações.** Rio de Janeiro, RJ, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1: **Componentes cerâmicos, Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos.**

Rio de Janeiro, RJ, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16.828: **Estruturas de Bambu - Parte 1 - Projeto e Parte 2 - Determinação das Propriedades Físicas e mecânicas do Bambu**. Rio de Janeiro, RJ, 2020.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; CASCARDO, C. R.; RIBEIRO, C. A. 2003. DESEMPENHO DE UM DISPOSITIVO PARA EFETUAR O TRATAMENTO QUÍMICO DE COLMOS DE BAMBU: Avaliação por Ultra-Som. In: **Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. Anais. São Carlos, SP, Brasil. 2003.

DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. **Bambus do Brasil: da Biologia à Tecnologia.** Coordenação: Embrapa Florestas. Rio de Janeiro: ICH / UFV, 2017.

EMBRAPA (Amazônia Ocidental). **Manejo Sustentado de Bambu Nativo na Amazônia: Resultados de 5 Anos de Testes no Acre.** Manaus: EMBRAPA, 2024.

INBAR. **Roadmap do Bambu para o Brasil – Um Caminho Sustentável a Seguir: Estrutura Estratégica e Plano de Ação** / Bamboo Roadmap for Brazil – A Sustainable Way Forward. Beijing: INBAR, 2024a.

INBAR. **Mercado e Cadeia de Valor do Bambu na América Latina** / Bamboo Market and Value Chain in Latin America. Beijing: INBAR, 2024b.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre: Prioridades para Manejo de Bambu.** Rio Branco: ICMBio, 2023.

JARAMILLO, S. V. **La guadua en los proyectos de inversión.** In: Anales del Congreso Mundial de Bambú Guadua. Pereira, Colômbia, 1992.

LEE, A. W. C.; BAI, X.; BANGI, A. P. **Flexural properties of bamboo-reinforced southern pine OSB beams.** Madison: Forest Products Journal, 1994.

LIESE, W. **Anatomy and properties of bamboo**. In: RECENT RESEARCH ON BAMBOOS, 1985, Hangzhou/China. Anais… Hangzou/China: Chinese Academy of Forestry; International Development Research Centre, 1987.

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de Bambu para habitações econômicas: Avaliação do desempenho dos painéis revestidos om argamassa.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – UNB, Brasília. 2006.

TEIXEIRA, A. A. **Desempenho de Painéis de Bambus Argamassados para Habitações Econômicas: Aplicação na Arquitetura e Ensaios de Durabilidade**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – UNB, Brasília. 2013.

TEIXEIRA, A. A.; MARÇAL, V. H. S. **Rooted Resilience: How Brazil's Bamboo Sector Advances Climate Action**. In: BRU Bamboo & Rattan Update, Vol. 6, Issue 2, June 2025. Beijing: INBAR, 2025.

PARTE III

INFRAESTRUTURA E PROJETOS COMPLEMENTARES

6 capítulos

CAPÍTULO 47 · Parte III · Infraestrutura e projetos complementares
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/z3krew14
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/jn0bp590

PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS NO PROCESSO DE GESTÃO DAS INFORMAÇÕES DE MANUTENÇÃO DA INFRAESTRUTURA PREDIAL DAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR

Maico Rodrigo Silva Dos Santos[1]*, Daniel Mânica[2]; Marcos Roberto da Silva[3];
*Autor de contato: maico.edfisica@gmail.com

[1] Núcleo de Infraestrutura do Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria -RS, Brasil
[2] Núcleo de Gestão Orçamentária do Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria -RS, Brasil
[3] Subdivisão de Patrimônio do Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria -RS, Brasil

RESUMO

O estudo buscou responder a questão "como o uso de tecnologias pode aprimorar a gestão das informações de manutenção da infraestrutura predial em Instituições de Ensino Superior? ". Teve como objetivo propor melhorias por meio do Sistema de Informações de Manutenção da Infraestrutura (SIMI), estruturado nos módulos gestor e executor. A pesquisa é de natureza qualitativa, com abordagem bibliográfica, exploratória e descritiva. A fundamentação teórica envolveu temas como gestão da manutenção predial, planejamento e controle da manutenção e sistemas de informação. A análise da literatura subsidiou a definição dos requisitos técnicos e funcionais do SIMI. O sistema evidenciou potencial ao ampliar a segurança no acesso aos dados, permitir consultas ao almoxarifado, ao histórico de manutenção e à localização dos espaços. Também possibilitando o envio e acompanhamento integrado das solicitações. Conclui-se que o uso de tecnologias representa estratégia para otimizar recursos, qualificar decisões e reduzir custos nas IES.
Palavras-chave: gestão das informações de manutenção da infraestrutura predial; Instituições de Ensino Superior; Sistema de Informações de Manutenção da Infraestrutura.

ABSTRACT

This study sought to answer the question "how can the use of technologies improve the management of building infrastructure maintenance information in Higher Education Institutions?". Its objective was to propose improvements through the Infrastructure Maintenance Information System (SIMI), structured in management and execution modules. The research is qualitative in nature, with a bibliographic, exploratory, and descriptive approach. The theoretical framework involved themes such as building maintenance management, maintenance planning and control, and information systems. The literature review supported the definition of the technical and functional requirements of SIMI. The system showed potential by increasing security in data access, allowing queries to the warehouse, maintenance history, and the location of spaces. It also enabled the integrated sending and monitoring of requests. It concludes that the use of technologies represents a strategy to optimize resources, improve decision-making, and reduce costs in HEIs.
Keywords: building infrastructure maintenance information management; Higher Education Institutions; Infrastructure Maintenance Information System.

1. INTRODUÇÃO

Com a expansão do ensino superior nas últimas décadas, gerir as informações da manutenção da infraestrutura predial destas instituições tornou-se uma tarefa desafiadora, cabendo diariamente aos gestores buscarem soluções que possam ser eficientes na continuidade da prestação deste serviço. Para Silva (2019), independente da forma de atuação e objetivos organizacionais, as edificações das instituições de ensino superior (IES), atualmente, possuem um grande número de equipamentos que devem entrar em operação sempre que solicitados, sem interrupções e falhas, mantendo os padrões de proteção e qualidade de vida. Ainda é destacado pela autora que a manutenção da infraestrutura abrange serviços que são fundamentais para manter a edificação segura, agradável e utilizável.

Nesse sentido, Cabral (2013) acrescenta que a gestão e manutenção de edificações é uma área que, no passado, não recebia a atenção necessária, mas vem ganhando espaço devido à diversidade e complexidade que as instalações apresentam, tendo uma exigência bastante significativa, o que legitima uma abordagem esclarecida e racional sobre a gestão da manutenção predial e seus ativos. A gestão e manutenção de infraestrutura, de acordo com Duarte (2015), necessita estar organizada e estruturada com métodos indispensáveis, que envolvem o cadastro das áreas do espaço físico e ativos - com informações essenciais sobre a manutenção de cada um deles - monitoramento de consumo energético com a elaboração de planos para a redução de gastos, acompanhamento financeiro dos gastos na manutenção, planos de procedimentos de manutenção preventiva, histórico da realização dos trabalhos e anomalias, sendo essa informação essencial para a manutenção e cálculo de desempenhos da manutenção dos espaços/ativos e, ainda, o suporte de um sistema de informações compatível à complexidade das atribuições de gerenciamento.

Pereira et. al (2015), sustentam que as IES e demais organizações, devem aproveitar os benefícios que as tecnologias disponibilizam, como o uso dos sistemas de informações, que fornecem suporte quantitativo e qualitativo nos seus planejamentos, nos processos que envolvem tomada de decisão e ainda na determinação das atividades operacionais. Entendem ainda que, nas organizações, tão importante quanto elaborar projetos, atividades e documentações é assegurar que todas as informações necessárias estejam dispostas de maneira acessível, organizada e com níveis de padronização satisfatória.

Silva (2017), salienta que a gestão de informações contribuirá com a gestão e manutenção da infraestrutura dos IES, sendo aplicado também no controle do excesso de informações que nem sempre chegam até os gestores com qualidade, recebendo um tratamento que visa agregar valor institucional, apresentando símbolos e representações mais claras e precisas. A implantação de sistemas de gestão de informações de manutenção se justifica para Gressler (2020), pela possibilidade de otimizar e aproveitar melhor os recursos materiais e humanos, contribuindo para a sustentabilidade das instituições públicas e privadas, sendo que contribui no estabelecimento dos objetivos com respaldos em normas e procedimentos.

Mota (2022), explica que uma gestão mais eficiente da informação pode ajudar a melhorar a capacidade de adaptação às mudanças decorrentes do ambiente externo, permitindo que as organizações alcancem seus objetivos funcionais, através de um fluxo de informações atualizadas, pertinentes e úteis. Para Gerônimo et al. (2018) isso decorre da ciência de que a informação desempenha um papel fundamental no controle operacional e construção de estratégias, sendo um recurso indispensável para a tomada de decisões, onde a decomposição das informações e a elaboração de ações interligadas favorecem a disponibilidade destes conteúdos para os gestores.
Dessa maneira, diante às considerações, o seguinte trabalho busca responder “como seria possível através do uso das tecnologias melhorar a gestão das informações de manutenção da infraestrutura predial em instituições de ensino superior? ”. Possui, como objetivo, propor melhorias no processo de gestão das informações de manutenção da infraestrutura das instituições de ensino superior públicas e privadas, através do Sistema de Informações de Manutenção da Infraestrutura (SIMI), dividido nos módulos gestor e executor.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. 1. Conceitos e tipos de manutenção

Inicialmente é importante conceituar a manutenção e gestão da manutenção, nas definições das organizações e autores. O Manual de Obras Públicas – Edificações – Manutenção Brasil (1997), define a manutenção como as atividades técnicas e administrativas determinadas a manter o funcionamento adequado dos componentes ou sistemas da edificação, das quais o desempenho depende de dispositivos, elétricos, mecânicos, hidráulicos e eletromecânicos. Já a ABNT (2012), conceitua a manutenção como sendo uma intervenção com o objetivo de conservar e recuperar a capacidade funcional das edificações e as partes constituintes.

Os tipos de manutenção são classificados de acordo com Herpich e Fogliatto (2013), como corretiva, preventiva e preditiva. Quando a manutenção é realizada após acontecer uma falha, para o restabelecimento das funções novamente é considerada corretiva, podendo ser classificada como planejada ou não planejada. Quando se destina a reduzir as probabilidades de ocorrência de uma falha ou desgaste, é considerada manutenção preventiva, realizada em intervalos estabelecidos ou de acordo com parâmetros prescritivos. A manutenção preditiva baseia-se no estado dos instrumentos e permite garantir uma qualidade de serviço esperada, com base na utilização sistemática de técnicos de análise, através de supervisão centralizada ou recursos de amostragem, que visam prever ou antecipar falhas, através da medição de parâmetros que apontam a evolução de uma falha a tempo de ser corrigida.

Já Slack et. al (2018), salientam que uma boa parte das organizações aplicam nas suas atividades as abordagens básicas de manutenção, a saber: a manutenção corretiva, preventiva e preditiva. Sendo que a manutenção corretiva atua somente após a falha ou quebra, para corrigir o defeito. Na manutenção preventiva, a atuação ocorre de maneira planejada, buscando reduzir ou eliminar as possibilidades de ocorrerem avarias. E a manutenção preditiva somente será realizada quando for efetivamente necessária. Ferreira (2017), cita que manutenção de melhoria deve ocorrer imediatamente após a pesquisa e o acompanhamento das demandas de necessidades dos usuários, em conformidade com os avanços tecnológicos. Sendo importante salientar que não refere a reformas ou modificações expressivas do espaço já construído. Caso haja a necessidade de novos projetos, somente deve ser realizado sob orientação profissional.

2. 2. Gestão da manutenção da infraestrutura nas Instituições Ensino Superior (IES)

A gestão da manutenção é vista por Pinto e Xavier (2001) como a responsabilidade de garantir o funcionamento dos aparelhos e instalações de maneira que possa atender os processos produtivos ou de serviço, com credibilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados. Fontana et. al (2019), levam em consideração os aspectos técnicos e práticos, entendendo a gestão da manutenção como o estabelecimento de rotinas apropriadas para o uso e conservação de edifícios públicos.

A gestão de prédios públicos e privados requer dos seus gestores, conhecimentos técnicos, legais e administrativos. Visto que a segurança, a saúde e o bem-estar de seus usuários estão baseados no planejamento e de eventuais ações rápidas dos gestores a fim de mantê-los em pleno funcionamento conforme Fontana et. al (2019). A gestão da manutenção e operação prediais vem sendo vista como um investimento que visa dar as edificações condições necessárias para a operacionalização das suas atividades, permitindo de maneira segura o funcionamento das instalações. Entendendo que uma manutenção planejada e competentemente executada tende a concorrer com redução dos custos futuros de conservação da edificação, de acordo com Silva (2014).

A partir da implantação do Programa de apoio a planos de reestruturação e expansão das universidades federais (REUNI), foram adotadas uma série de medidas que visam retomar o crescimento do ensino superior no Brasil, com o incentivo para ampliação física das unidades, acadêmicas e pedagógicas de acordo com Brasil (2010). Como resultado, Paiva (2019) cita que

ocorreu um aumento significativo no inventário de ativos físicos nas IES brasileiras, crescendo paralelamente o tempo de utilização das instalações dessas organizações. Essa expansão, conforme Silveira (2016) acrescentou um novo desafio aos gestores atuantes nas IES, a gestão da operação e manutenção das instalações já antigas e das atuais, localizadas nos mais diversos pontos no interior dos campis e também externamente.

No entanto, Ferreira (2017), salienta que mesmo ocorrendo uma evolução recente dos métodos e estudos da manutenção predial, no contexto brasileiro ainda predominam a improvisação e a falta de conhecimentos nesta área, tanto nas edificações públicas quanto privadas. A autora ainda cita em seu estudo que as IES brasileiras vêm sendo geridas baseadas em manutenções corretivas, em detrimento das manutenções preventivas que deveriam ser a regra geral. Constatando-se que há uma carência de planos de manutenção, softwares de apoio, mapeamento da edificação e muitos outros dispositivos necessários para a gestão.

Xenos (2014), destaca que a manutenção corretiva caracterizada por atuar maneira reativa e não programada é considerada a menos recomendada na manutenção de edifícios e equipamentos, porque além dos custos não previstos, ela também pode não identificar patologias que estão ocorrendo, que irão se agravar no decorrer do tempo gerando degradação e envelhecimento precocemente dos edifícios, assim num desafio é encontrar estudos acadêmicos que abordem a manutenção predial nas instituições de ensino superior. De acordo com Conte (2016), é bastante difícil encontrar trabalhos relacionados a esse tema e uma das justificativas seria a pouca importância que se dedica à manutenção predial nesse tipo de escola. Além disso, as poucas pesquisas que existem sobre o assunto abordam-no de forma similar, trazendo poucos acréscimos ao seu estudo, conforme apresentado nos trabalhos a seguir.

Cunha (2007), a partir da pesquisa de várias bibliografias, identificou como ferramentas para o gerenciamento de serviços de manutenção predial as seguintes: Sistema informatizado da manutenção, banco de dados para a manutenção, ordens de serviço, inspeção predial, terceirização, indicadores de manutenção e planejamento e controle da manutenção. A partir desse levantamento, ele criou uma metodologia de gerenciamento, relacionando todas as ferramentas para aplicação em órgãos públicos.

Em seus estudos, Klein (2007), analisou o setor de manutenção predial da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e constatou a ausência de parâmetros e de um plano estruturado de gestão, realidade semelhante em diversos prédios públicos. O autor identificou fragilidade no registro das informações, com solicitações feitas verbalmente e resistência ao registro formal, o que gerava a falta de controle de materiais, horas trabalhadas e equipes responsáveis, além de demora no atendimento devido à centralização das demandas. Como resultado, foi desenvolvido e implantado um Sistema Informatizado de Planejamento e Controle da Manutenção no Campus do Vale da UFRGS, estruturado com ferramentas de solicitação de serviços, ordem de serviço e planejamento e controle da manutenção, integrado ao Portal do Servidor da instituição.

O trabalho de análise de Villanueva (2015) voltou-se para a gestão da manutenção do prédio administrativo do Parque Tecnológico da Universidade Federal do Rio de Janeiro, onde o autor destacou a importância de um sistema estruturado para garantir o bom desempenho da edificação. Embora a instituição utilizasse o software Leankeep, foram identificados problemas como equipe insuficiente e despreparada, falta de controle no almoxarifado, dificuldades no uso do sistema por ausência de suporte técnico e inexistência de um plano geral de manutenção, restringindo-se o planejamento apenas aos aparelhos de ares-condicionados, enquanto os demais serviços eram corretivos. Como proposta, o autor sugeriu a elaboração de um Manual de Uso, Operação e Manutenção conforme a NBR 5674, além da criação de planos específicos para cada sistema e equipamento, a fim de orientar a gestão e qualificar as rotinas de manutenção.

Neto (2015), analisou os procedimentos de manutenção predial nas edificações da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus de Cuiabá, onde constatou inicialmente que os subsistemas de esquadrias, de instalações elétricas, de ares-condicionados e o subsistema hidrossanitário, foram os que receberam maior demanda de solicitação de intervenção. Concluindo

ainda que a manutenção é realizada de maneira corretiva, não havendo intervenção de manutenção dos subsistemas de maneira planejada e nem critérios claros para o controle da qualidade dos serviços executados. Para a elaboração de um plano de manutenção predial para a instituição, o autor sugeriu inicialmente que seja realizado um levantamento de todos os espaços físicos existentes no Campus universitário, detalhando as especificidades de cada edificação, como materiais e equipamentos, de maneira que haja uma constante atualização no sistema de dados. Tornando-se necessário também a realização de estudos relativos às condições estruturais das edificações.

O modelo proposto por Conte (2016), foi aplicado no Centro Federal de Educação Tecnológica no Rio de Janeiro (CEFET/RJ), Campus Maracanã. O trabalho do autor teve como objetivos reduzir o desperdício e retrabalho, otimizar os custos e incrementar níveis consideráveis de qualidade, confiabilidade, disponibilidade, produtividade, segurança e educação ambiental. Com a proposta do emprego de uma manutenção preventiva para a construção predial, equipamentos e instalações do CEFET/RJ, com a descrição da rotina de manutenção em tabelas, especificando as atividades a serem realizadas, os cuidados necessários e a periodicidade em que serão executadas as intervenções. Conte (2016), ainda propôs para o setor de manutenção a implantação do programa 5 S e a utilização da ferramenta gerencial PDCA (acrônimo em inglês de Plan, Do, Check, Act), visando uma melhoria contínua dos processos de gestão.

Ferreira (2017) analisou onze universidades federais de Minas Gerais, onde foram identificados diversos problemas na gestão da manutenção predial, como falta de capacitação profissional, uso de ferramentas inadequadas, ausência de diagnóstico do estado de conservação dos edifícios, inexistência de plano de manutenção preventiva, predominância de ações corretivas, deficiência no controle de qualidade e carência de um sistema informatizado para gestão das informações. Diante desse cenário, o autor propôs diretrizes voltadas às principais lacunas observadas: desconhecimento das condições das edificações, inexistência de planejamento preventivo e necessidade de implantação de um sistema de informações para apoiar a gestão da manutenção.

Garcia et. al (2019) propõe no seu trabalho a utilização de ferramentas de modelagem Building Information Modeling (BIM) nos processos que envolvem a operacionalização e manutenção predial, aplicado na Unidade Ambulatorial da Unidade Saúde-Escola (USE) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Succar (2009), destaca que o BIM pode ser conceituado como um conjunto de políticas, processos e tecnologias de informações que interagem entre si. Assim, viabilizando uma metodologia fundamentada na tecnologia de informação para a gestão de projetos de construção e informações digitalizadas referentes ao ciclo de vida das edificações, que envolvem desde a construção, operacionalização até uma possível desconstrução, como destaca Pentilha (2006).

Arçari (2019), apresenta um estudo relacionado a gestão da manutenção desenvolvido na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) – Campus de Itabira, onde constatou através de estudos a inexistência ou realização parcial de operações essenciais para o gerenciamento da manutenção, como a falta de plano de manutenção, inspeções prediais, indicadores de desempenho, ordens de serviço, gestão de estoques, mão-de-obra e qualidade. E o funcionamento parcial do sistema informatizado e banco de dados. Arçari (2019), após um levantamento minucioso de dados e análise, concluiu que a ferramenta de gestão predial de maior necessidade para a UNIFEI seria a elaboração de plano de manutenção, seguido respectivamente da gestão de estoques, recursos humanos e qualidade, e de um sistema informatizado.

Assim, os modelos de gestão de manutenção para as IES, buscam principalmente, manter em pleno funcionamento das edificações e seus componentes, com a redução dos custos de mão de obra e materiais, promovendo a satisfação e segurança dos seus usuários.

2. 3. Gestão de informações nas Instituições de Ensino Superior e os modelos conceituais

De acordo com Santos e Bronnemman (2013), as IES apresentam na sua estrutura uma complexidade de atividades de ensino, extensão e pesquisa. Conforme Pascuci et al. (2016), as instituições públicas de ensino superior são geridas atualmente por um modelo gerencial, que lhes exige novos procedimentos administrativos, com ênfase em resultados.

Neste sentido Oporto (2014), destaca que as IES que possuem como a responsabilidade de produzir e disseminar conhecimentos estão sujeitas a influência, dos ambientes, econômicos, políticos, sociais, tecnológicos e jurídicos, dessa maneira necessitam dispor de uma gestão estratégica que determine e oriente suas ações, com a integração de recursos, servindo seus objetivos e qualidade de ensino. A presente concorrência que o mercado apresenta, exige das IES a tomada de decisões e posicionamentos estratégicos direcionados para um contexto dinâmico.

Para Walter e Meyer Júnior (2010), os IES igualmente possuem uma frouxidão ou debilidade na articulação dos seus sistemas, com lideranças difusas, apresentando unidades com sistemas em parte autônomos na sua atuação e com servidores possuindo relativa autonomia em suas atribuições. Como resultado, tanto as decisões, quanto às divergências acontecem num ritmo moroso, tornando o sistema aquém das expectativas e mais difícil de ser gerido. Vem se verificando nas rotinas de trabalho das organizações privadas e públicas, problemas relacionados à gestão de processos e de informações, decorrentes da insuficiência de uma perspectiva holística, alinhada e assertiva dos processos de negócio e seus fluxos informacionais. E ainda sendo severamente agravados pelo aumento exponencial de registros informacionais, que diariamente são criados, recebidos e compartilhados, somados à incapacidade de representação e organização de maneira simples e imediata segundo Aganette (2020).

Starec (2006), destaca que as organizações geralmente dão ênfase para a administração de recursos humanos, financeiros ou operacionais, disponibilizando pouca atenção para a gestão das informações. O autor cita ainda a cultura existente nas organizações como uma barreira comunicacional informacional. Pois se a cultura não der respaldo ao fluxo de informação sugerido, isto é, se não ocorrer acesso e incentivo à comunicação, este fluxo de informação será impedido por essa barreira.

Tarapanoff (2006), mencionam em seu trabalho que as informações em ambientes organizacionais, proporcionam a melhora dos processos, serviços e produtos, sendo de grande interesse pelo seu valor estratégico. A gestão da informação, inicialmente concebida para gestão de documentos e dados, ampliou a sua visão para mecanismos informacionais, apresentando soluções no que tange à eficiência operacional, evitando desperdícios e automatizando os processos.

Conforme Miranda e Moresi (2010) as organizações que administram o seu fluxo de informações possuem maior sustentação e vantagem em comparação aos seus concorrentes. E quando se trata de uma organização pública, que tem utilizado a gestão de informações, para o executar uma missão, garantir o acesso às informações de interesse público, prestar contas à sociedade, para tornar mais transparentes as suas ações. É indispensável a realização do acompanhamento e cumprimento correto das etapas de gestão das informações são aspectos importantes para a eficiência e eficácia na esfera decisória.

De acordo com Mendonça e Varvakis (2018), para a sobrevivência das organizações no contexto que estão inseridas depende da competência em gerir as informações e produzir conhecimentos aos gestores ou executivos na tomada de decisões. Através da compreensão dos fluxos informacionais, é concebível o desenvolvimento de melhorias que diretamente se relacionam com o acerto no processo decisório e como resultado o sucesso da organização. As informações independentemente do seu formato, são absolutamente indispensáveis no processo decisório das reitorias, pró-reitorias, setores administrativos ou unidades que integram as IES. Gerir as informações de maneira que agreguem valor e conhecimentos, compõem um processo que pode favorecer consideravelmente para a gestão universitária, proporcionando além de uma qualidade superior, segurança, eficiência

e melhores resultados nos serviços prestados e nas tomadas de decisões em consonância com Sousa Neto (2018).

Para Davenport (1997), o gerenciamento da informação é um conjunto de informações que reflete a maneira como as atividades de uma organização são capturadas, compartilhadas e utilizam essas informações e conhecimentos. Este modelo de gestão da informação conforme o autor envolve algumas etapas levando em consideração a abordagem que o trabalho está se relacionado. Em um processo mais abrangente ou generalista a gestão da informação é constituída da delimitação dos requisitos ou das necessidades de informações, recepção, compartilhamento (distribuição) e uso das informações. É descrito também que ocorre neste processo a medição em busca de um aperfeiçoamento constante.

De acordo Choo (2003) a gestão da informação compreende seis processos inter-relacionados: identificação das necessidades informacionais, aquisição, organização e armazenamento, desenvolvimento de produtos de informação, distribuição e utilização. O objetivo desse ciclo é tornar a informação acessível e valorosas para as atividades organizacionais, sendo o seu valor atribuído pelos próprios colaboradores, desde que ela tenha significado para quem a utiliza. O modelo também ressalta a necessidade de reavaliação contínua das informações, considerando o dinamismo das organizações e as constantes demandas por novas decisões.

Dessa maneira Presser et. al (2012), ainda salientam a construção de um sistema informacional exige, inicialmente, a clara definição das necessidades de informação e das decisões que serão apoiadas pelo sistema. As informações devem ser organizadas de forma estruturada e compatível com a linguagem, classificações e formas de representação compreendidas pelos usuários, garantindo facilidade de recuperação e uso. Além disso, a gestão da informação, apoiada pela tecnologia, deve ser contínua e envolver identificação, aquisição, organização, armazenamento, distribuição e utilização das informações, visando à geração de produtos e serviços adequados às demandas organizacionais.

3. METODOLOGIA

O presente artigo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, de natureza qualitativa, com abordagem exploratória e descritiva. Essa estratégia metodológica foi adotada com o objetivo de reunir, analisar e sistematizar conhecimentos já consolidados acerca da gestão de manutenção da infraestrutura predial em Instituições de Ensino Superior (IES), bem como sobre a sua gestão de informações.

O levantamento bibliográfico concentrou-se em publicações científicas, dissertações, teses, normas técnicas e documentos institucionais, como bases de dados o Portal de Periódicos da CAPES e o Google Acadêmico, que abordassem:

- Gestão de manutenção predial e de infraestrutura;
- Modelos de manutenção aplicados em IES públicas brasileiras;
- Planejamento e controle da manutenção;
- Gestão da informação organizacional;
- Sistemas de informação aplicados à manutenção;
- Indicadores de desempenho e apoio à tomada de decisão.

Foram priorizados estudos que apresentassem experiências práticas em universidades públicas brasileiras, evidenciando conceitos, metodologias e modelos já implementados, bem como análises críticas sobre desafios e resultados alcançados. A seleção do material considerou relevância temática, consistência metodológica e aderência ao contexto das instituições públicas de ensino superior. Após a seleção das fontes, realizou-se leitura exploratória e analítica com o propósito de identificar as principais contribuições da literatura, conforme quadro 1, à acerca da gestão das informações de manutenção da infraestrutura predial em Instituições de Ensino Superior (IES), que

constituíram a base teórica para a elaboração da proposta do Sistema de Informações de Manutenção da Infraestrutura (SIMI) para as IES.

Quadro 1 – Contribuições da literatura

Gestão de manutenção de infraestrutura	Gestão de informações
Planejamento e de eventuais ações rápidas	Novos procedimentos administrativos, com ênfase em resultados
Operacionalização das suas atividades	Integração de recursos
Redução dos custos futuros de conservação da edificação	Eficiência operacional, evitando desperdícios e automatizando os processos.
Metodologia de gerenciamento	Maior sustentação e vantagem em comparação aos seus concorrentes
Sistema Informatizado de Planejamento e Controle da Manutenção estruturado com ferramentas de solicitação de serviços	Garantia de acesso às informações de interesse público, com a prestação de contas à sociedade, tornando mais transparentes as ações
A elaboração de um Manual de Uso, Operação e Manutenção e também a criação de planos específicos para cada sistema e equipamento	Maior probabilidade de acerto no processo de tomada de decisão
Levantamento de todos os espaços físicos existentes detalhando as especificidades de cada edificação, com constante atualização no sistema de dados	Informações disponibilizadas de forma a agregar valor e ampliar os conhecimentos
Descrição da rotina de manutenção em tabelas, especificando as atividades, cuidados e a periodicidade em que serão executadas as intervenções	As informações refletem a forma como as atividades de uma organização são capturadas, compartilhadas e utilizadas na geração e aplicação do conhecimento
Busca pela melhoria contínua dos processos de gestão	Tornar as informações mais acessíveis e valorosas para as atividades organizacionais
A elaboração de diretrizes voltadas a suprir lacunas existentes na gestão da manutenção	Contribuição na geração de produtos e serviços adequados às demandas organizacionais
A utilização de ferramentas de modelagem Building Information Modeling (BIM)	
O uso de uma metodologia fundamentada na tecnologia de informação para a gestão de projetos de construção e informações digitalizadas referentes ao ciclo de vida das edificações	
A elaboração de plano de manutenção, seguido respectivamente da gestão de estoques, recursos humanos e qualidade, e de um sistema informatizado	

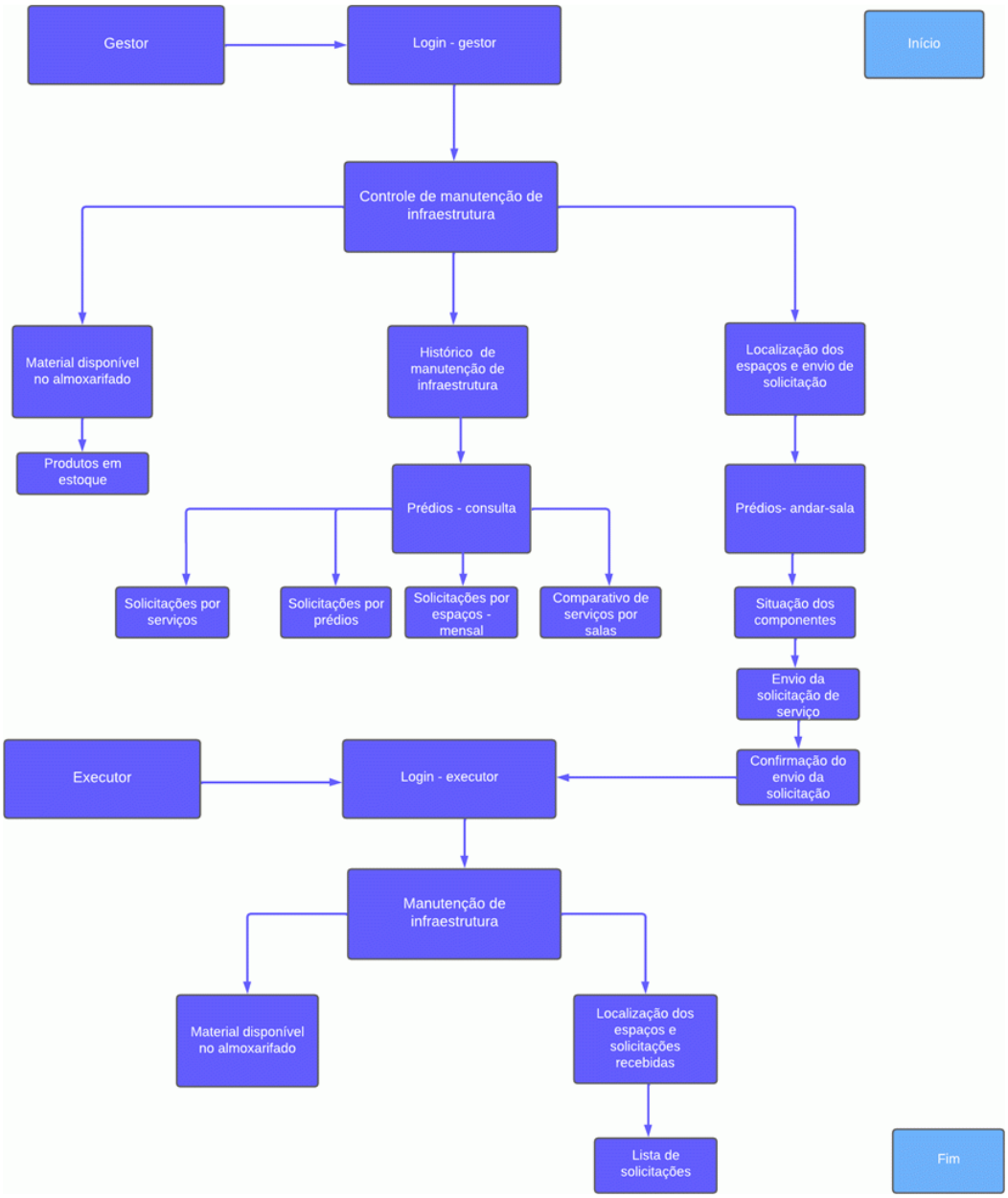
Fonte: os autores.

Dessa forma, o SIMI foi concebido como um modelo teórico fundamentado em práticas já aplicadas em IES públicas brasileiras e em princípios consolidados de gestão da manutenção e da informação, buscando adaptar e integrar esses referenciais à realidade institucional.

4. RESULTADOS

O Sistema de Informações de Manutenção da Infraestrutura (SIMI) é composto por 22 interfaces funcionais, estruturadas para atender às demandas da gestão das informações de manutenção da infraestrutura predial, organizado nos módulos Gestor e Executor. Na Figura 1, são representadas, em formato de fluxograma, as etapas de funcionamento do SIMI, contemplando todo o processo de gestão das informações de manutenção da infraestrutura, do início à finalização.

Figura 1 - Fluxograma do funcionamento do SIMI



Fonte: os autores.

A implementação do Sistema de Informações de Manutenção da Infraestrutura (SIMI) representa um avanço significativo na gestão das informações de manutenção das Instituições de Ensino Superior (IES), promovendo maior eficiência, transparência e confiabilidade nos processos. As melhorias propostas e alcançadas por meio do sistema evidenciam resultados concretos na organização e no controle das atividades de manutenção.

Inicialmente, destaca-se a segurança no acesso às informações, assegurada por meio de controle de perfis de usuários e níveis de permissão, o que garante que apenas pessoas autorizadas possam visualizar, registrar ou alterar dados. Essa medida contribui para a integridade das informações e para a proteção dos registros institucionais.

Outro aprimoramento relevante refere-se à consulta ao almoxarifado, que possibilita a verificação em tempo real da disponibilidade de materiais e insumos necessários à execução dos serviços de manutenção. Essa funcionalidade reduz retrabalhos, otimiza o planejamento das atividades e favorece o controle de estoque.
O sistema também permite a consulta ao histórico de manutenção predial, proporcionando acesso aos registros anteriores de intervenções realizadas. Essa ferramenta apoia a tomada de decisão, possibilita análises preventivas e contribui para o planejamento estratégico da manutenção predial.

No que tange à organização espacial, o SIMI oferece a consulta à localização dos espaços, facilitando a identificação precisa dos ambientes e agilizando o atendimento das demandas. Essa funcionalidade reduz o tempo de deslocamento e melhora a eficiência operacional das equipes executoras.

Além disso, o sistema disponibiliza a opção de envio de solicitações, permitindo que usuários registrem demandas de manutenção de forma padronizada e estruturada. Esse procedimento formaliza o processo, evita perdas de informação e assegura maior controle sobre as requisições. Por fim, o acompanhamento do status da solicitação garante transparência ao processo, possibilitando que o solicitante acompanhe cada etapa da demanda, desde o registro até a conclusão do serviço. Essa funcionalidade fortalece a comunicação interna e promove maior satisfação dos usuários.

Dessa forma, o SIMI consolida-se como uma ferramenta estratégica para a modernização da gestão da manutenção da infraestrutura predial das IES, promovendo maior organização, rastreabilidade das informações e eficiência administrativa.

5. CONCLUSÃO

A proposta do SIMI demonstrou que é possível preencher lacunas existentes na gestão das informações de manutenção de infraestrutura predial da IES, através de uma plataforma integrada que possibilita o monitoramento, controle e análise eficaz dos dados. O sistema assegura o acesso às informações organizadas, facilitando que os processos sejam conduzidos de maneira clara e precisa. Contribuindo significativamente na tomada de decisões, favorecendo uma gestão proativa e estratégica das informações de manutenções. É importante salientar que o SIMI pode ser adaptado conforme a realidade que será implantado, para isto é indispensável que os gestores, executores e programadores, se envolvam ativamente no desenvolvimento do sistema, com o abastecimento de ideias e informações, conforme a sua vivência na área de manutenção de infraestrutura e tecnologias, realizando correções quando se tornar necessárias.

Dessa forma, o estudo verificou que ainda se tem um longo caminho a percorrer, até que a gestão das informações de manutenção de infraestrutura seja vista, como elemento fundamental para as IES que desejam melhorar a confiabilidade das informações e o desempenho dos ativos. Sendo que o apoio das tecnologias demonstra ser uma alternativa viável, para que as IES consigam gerir com eficiência as informações de manutenção de infraestrutura predial e assim alcançarem a eficiência na redução dos seus custos de manutenções.

REFERÊNCIAS

AGANETTE, E. Mapeamento de processos sob a perspectiva da Ciência da Informação. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, 2020, p. 187–201. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/pci/article/view/22288. Acesso em: 3 fev. 2026.
ARÇARI, V. N. **Proposta para implementação de gestão da manutenção predial em uma instituição federal de ensino superior**. 2019. 123 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Campus Itabira, Itabira, 2019.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: **Manutenção de edificações: requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

BRASIL. **Ministério da Educação**. Presidente Lula entrega campi de universidades e institutos federais. Brasília, DF, 2010. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=16096. Acesso em: 4 jan. 2026.
BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Estado da Administração e Patrimônio. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. **Manual de obras públicas: edificações – manutenção**. Brasília, 1997. Disponível em: http://www.comprasnet.gov.br/publicacoes/manuais/manual_manutencao.pdf. Acesso em: 4 jan. 2026.
CHOO, C. W. **A organização do conhecimento: como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões**. São Paulo: Senac, 2003.
CONTE, F. **Proposta de um modelo de gestão da manutenção com qualidade total para escolas de nível superior: um estudo de caso do CEFET/RJ. 2016**. 143 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.
CUNHA, A. S. C. **Proposição e análise de metodologia para gerenciamento de serviços de manutenção predial**. 2007. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.
DAVENPORT, T. H. **Ecologia da informação**. Oxford: Oxford University Press, 1997.
DUARTE, L. M. P. C. **Gestão da manutenção das instalações de AVAC em edifícios da Força Aérea**. 2015. Dissertação – Instituto de Estudos Superiores Militares, 2015. Disponível em: http://hdl.handle.net/10400.26/21258. Acesso em: 1 jan. 2026.
FERREIRA, F. M. C. **Modelo para gestão de manutenção predial em universidades públicas: caso das IFES mineiras**. 2017. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
FONTANA, L. H. N.; SANTOS, C. H. S.; OLIVEIRA, C. C. Manutenção de prédios públicos: uma questão de gestão. **Revista Eletrônica de Administração**, v. 18, n. 2, ed. 35, jul./dez. 2019. Disponível em: http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/rea. Acesso em: 5 fev. 2026.
FONTOURA, H. N.; SANTOS, C. H. S.; OLIVEIRA, C. C. Manutenção de prédios públicos: uma questão de gestão. **Revista Eletrônica de Administração**, v. 18, n. 2, ed. 35, jul./dez. 2019. Disponível em: http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/rea. Acesso em: 6 jan. 2026.
GARCIA, L. R.; BUENO, C.; SILVA, S. R. M. Estudo do potencial de ferramentas BIM aplicadas à manutenção predial em edifícios públicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 1–7. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/149. Acesso em: 1 fev. 2026.
HERPICH, C.; FOGLIATTO, F. S. Aplicação de FMECA para definição de estratégias de manutenção em um sistema de controle e instrumentação de turbogeradores. *Iberoamerican* **Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, 2013.
KLEIN, J. J. **Desenvolvimento e implantação de um sistema de planejamento e controle da manutenção informatizado em uma instituição de ensino superior**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
MENDONÇA, T. C.; VARVAKIS, G. Análise do uso da informação para tomada de decisão gerencial em gestão de pessoas: estudo de caso em uma instituição bancária. *Perspectivas em* **Ciência da Informação**, v. 23, n. 1, p. 104–119, 2018.
MIRANDA, M. M. S.; MORESI, E. A. D. A gestão do conhecimento no compartilhamento de melhores práticas em uma base de dados no Tribunal Regional Federal da Primeira Região. **Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação**, v. 7, n. 2, p. 409–432, 2010.
MOTA, D. E. F. **A gestão de informação entre setores administrativos da reitoria da Universidade Federal da Paraíba e sua contribuição nas tomadas de decisão**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.
NETO, A. P. G. **Diagnóstico dos procedimentos de manutenção predial nas edificações do Campus da Universidade Federal do Mato Grosso em Cuiabá**. 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.
OPORTO, A. C. Stakeholders e seu impacto na gestão estratégica: um estudo em uma organização universitária. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL DE GESTÃO UNIVERSITÁRIA, 14., 2014.

Anais [...]. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/131880/2014-231.pdf?sequence=1. Acesso em: 25 jan. 2026.
PAIVA, E. P. V. **Método para diagnóstico do nível de maturidade da gestão da manutenção em IFES: um estudo de caso da UFRN**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
PASCUCI, L.; MEYER JR., V. Gerencialismo na gestão universitária: executivos do planejamento estratégico segundo a percepção de gestores de uma universidade pública. **Revista Gestão Universitária na América Latina – GUAL**, v. 9, n. 1, p. 37–59, 2016.
PENTILHA, H. Descrever as mudanças na tecnologia da informação arquitetônica para entender a complexidade do projeto e a expressão arquitetônica de forma livre. **ITcon**, v. 11, p. 395–408, 2006. Disponível em: https://www.itcon.org/2006/29. Acesso em: 18 fev. 2026.
PEREIRA, K. I. A. et al. Sistemas de informação: um estudo de caso em uma unidade suplementar da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. **Revista Gestão Universitária na América Latina – GUAL**, v. 8, n. 4, p. 189–199, 2015. Disponível em: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319343257012. Acesso em: 7 fev. 2026.
PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.
PRESSER, N. H.; SILVEIRA, A. A.; BRAZ, M. I. Organização e representação das informações acadêmicas: um recurso de gestão. **Revista Digital Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 16–30, 2012. Disponível em: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/1894. Acesso em: 7 jan. 2026.
SANTOS, L.; BRONNEMANN, M. R. Desafios da gestão em instituições de ensino superior: um estudo de caso. **Revista Gestão Universitária na América Latina – GUAL**, v. 6, n. 1, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.5007/1983-4535.2013v6n1p1. Acesso em: 30 jan. 2026.
SILVA, A. S. **Plano de negócio: gestão da manutenção predial em redes bancárias de Curitiba (PR)**. 2014. 81 f. Monografia (Especialização em Gerência de Manutenção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
SILVA, G. R. Gestão da informação para a tomada de decisão em uma instituição de ensino superior privada. **Revista Digital Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 53–81, 2017. Disponível em: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/8645248. Acesso em: 27 jan. 2026.
SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
STAREC, C. A. A dinâmica da informação: a gestão estratégica da informação para a tomada de decisão nas organizações. In: CHAVES, J. B. L.; STAREC, C.; GOMES, E. B. P. (org.). ***Gestão estratégica da informação e inteligência competitiva***. São Paulo: Saraiva, 2006. p. 47–66.
SUCCAR, B. Estrutura de modelagem de informações de construção: uma base de pesquisa e entrega para as partes interessadas do setor. **Automation in Construction**, v. 18, p. 357–375, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003. Acesso em: 5 jan. 2026.
TARAPANOFF, K. (org.). **Inteligência, informação e conhecimento**. Brasília: IBICT; UNESCO, 2006.
VILLANUEVA, M. M. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação**. 2015. 173 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
WALTER, S. A.; MEYER JR., V. **Reflexões sobre administração universitária e ensino superior**. Curitiba: Juruá; Blumenau: Edifurb, 2010.
XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva**. 2. ed. Rio de Janeiro: INDG, 2014.

CAPÍTULO 48 · Parte III · Infraestrutura e projetos complementares
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/n9k6m621
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/bxr3ba45

AVALIAÇÃO DO RISCO ESTRUTURAL EM PONTES DE CONCRETO BRASILEIRAS: INFLUÊNCIA DA IDADE E DAS DEFICIÊNCIAS NO SISTEMA DE INSPEÇÃO

Pedro Matiazzi da Silva[1]*, Gilmar Andretta Filho[2]
*Autor de contato: gilmarandretta2000@gmail.com

[1] Engenharia Civil, Faculdade Fasipe, Sinop, Brasil

RESUMO

A infraestrutura rodoviária brasileira enfrenta um cenário crítico de degradação estrutural, particularmente no que concerne às obras de arte especiais (OAEs). Das 113.168 pontes rodoviárias estimadas no território nacional, apenas 13% possuem registros de inspeção atualizados, evidenciando uma lacuna significativa na gestão de ativos de infraestrutura. Aproximadamente 37% do inventário nacional possui mais de 50 anos de idade, tendo sido projetado segundo normas técnicas que não contemplavam as intensidades de tráfego e cargas atuais. Este estudo apresenta uma análise sistemática do risco estrutural em pontes de concreto brasileiras, correlacionando a idade das estruturas, a classificação de condição segundo a ABNT NBR 9452:2023 e as deficiências nos sistemas de inspeção e manutenção. Mediante revisão bibliográfica sistemática e modelagem probabilística baseada em taxas de falha reportadas na literatura internacional, estimou-se que as 903 OAEs classificadas como críticas ou ruins pelo DNIT apresentam uma probabilidade de 56% de ocorrência de pelo menos um colapso anual, correspondendo a uma expectativa de falha a cada 15 meses na ausência de intervenções. Os resultados evidenciam a correlação entre o agravamento de patologias estruturais e as falhas nos sistemas de fiscalização, sublinhando a urgência de políticas de manutenção preventiva mais rigorosas e transparentes.

Palavras-chave: pontes de concreto; patologias estruturais; inspeção de pontes; infraestrutura rodoviária.

ABSTRACT

Brazilian road infrastructure faces a critical scenario of structural degradation, particularly concerning special engineering structures (OAEs). Of the estimated 113,168 road bridges in the national territory, only 13% have updated inspection records, evidencing a significant gap in infrastructure asset management. Approximately 37% of the national inventory is over 50 years old, having been designed according to technical standards that did not contemplate current traffic intensities and loads. This study presents a systematic analysis of structural risk in Brazilian concrete bridges, correlating the age of structures, condition classification according to ABNT NBR 9452:2023, and deficiencies in inspection and maintenance systems. Through systematic literature review and probabilistic modeling based on failure rates reported in international literature, it was estimated that the 903 OAEs

classified as critical or poor by DNIT present a 56% probability of at least one collapse occurring annually, corresponding to a failure expectation every 15 months in the absence of interventions. The results evidence the correlation between the aggravation of structural pathologies and failures in inspection systems, underlining the urgency of more rigorous and transparent preventive maintenance policies.

Keywords: concrete bridges; structural pathologies; bridge inspection; road infrastructure.

INTRODUÇÃO

As obras de arte especiais (OAEs) constituem elementos críticos da infraestrutura de transportes, caracterizando-se por estruturas de engenharia civil que transpõem obstáculos naturais ou artificiais, conectando vias e exigindo projetos estruturais de elevada complexidade técnica. No contexto brasileiro, a gestão dessas estruturas enfrenta desafios significativos relacionados à escassez de dados precisos, deficiências nos sistemas de inspeção e manutenção inadequada.

Segundo Santos et al. (2024), estima-se a existência de aproximadamente 113.168 pontes rodoviárias no território nacional, número substancialmente superior aos 6.176 registros oficiais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2020). Esta discrepância evidencia uma lacuna crítica no inventário nacional de OAEs, comprometendo a capacidade de planejamento e gestão da infraestrutura rodoviária.

A problemática agrava-se ao considerar que apenas 13% das pontes brasileiras possuem registros de inspeção atualizados, deixando mais de 98.000 estruturas sem qualquer avaliação documentada de suas condições estruturais e funcionais (SANTOS et al., 2024). Adicionalmente, aproximadamente 37% do inventário nacional possui mais de 50 anos de idade, tendo sido projetado segundo normas técnicas vigentes nas décadas de 1950 e 1960, que não contemplavam as intensidades de tráfego e magnitudes de carregamento atuais (SILVA et al., 2018).

Silva et al. (2018) destacam que a maioria das pontes brasileiras foi construída entre as décadas de 1950 e 1970, período em que a norma NB-6 de 1946 estabelecia limites de carga de apenas 24 toneladas para veículos. Com a evolução das demandas de transporte, a NB-6/1960 elevou esse limite para 36 toneladas, e posteriormente a NBR 7188 de 1982 passou a prever cargas de até 45 toneladas. Consequentemente, muitas estruturas em operação atualmente suportam carregamentos superiores aos previstos em seus projetos originais.

A negligência na manutenção preventiva e a ausência de sistemas eficazes de monitoramento têm contribuído para o surgimento e agravamento de patologias estruturais. Conforme o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), as principais manifestações patológicas em pontes de concreto incluem fissuração, corrosão de armaduras,

desagregação do concreto, carbonatação, desgaste superficial, perda de aderência e danos decorrentes de colisões.

Santana, Neto e Lima (2022) enfatizam que a falta de fiscalização e manutenção preventiva tem contribuído significativamente para falhas e incorreções nessas estruturas, sendo que as influências ambientais sobre os materiais também podem causar manifestações patológicas. Mascarenhas et al. (2019) complementam que o declínio estrutural das OAEs resulta de uma combinação de fatores agressivos, manifestando-se através de fissurações oriundas de esforços estruturais, fenômenos químicos como carbonatação e corrosão, e agentes biológicos que promovem a desagregação do concreto ao longo do tempo.

O colapso da ponte Juscelino Kubitschek de Oliveira, ocorrido em 22 de dezembro de 2024, que conectava os municípios de Aguiarnópolis (TO) e Estreito (MA), exemplifica tragicamente as consequências da negligência na manutenção de estruturas críticas. Segundo documentos do DNIT divulgados pela imprensa, a estrutura havia sido classificada com nota técnica 1 (crítica) em inspeção realizada em 2020, porém não foram executadas as intervenções necessárias para prevenir o colapso.

Diante deste cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar o risco estrutural em pontes de concreto brasileiras, analisando a correlação entre a idade das estruturas, a classificação de condição segundo a ABNT NBR 9452:2023, e as deficiências nos sistemas de inspeção e manutenção. Mediante revisão bibliográfica sistemática e modelagem probabilística exploratória baseada em taxas de falha reportadas na literatura internacional, busca-se quantificar o risco de colapso e subsidiar a formulação de políticas públicas de manutenção preventiva mais eficazes.

A relevância desta pesquisa fundamenta-se na necessidade premente de compreender e mitigar os riscos associados à infraestrutura rodoviária nacional, contribuindo para a segurança dos usuários e a preservação do patrimônio público.

REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Patologias em Estruturas de Concreto Armado

As patologias em estruturas de concreto armado constituem um campo de estudo fundamental da engenharia civil, abrangendo a identificação, diagnóstico e tratamento de manifestações que comprometem o desempenho estrutural e a durabilidade das construções. Santos (2024) destaca que as principais patologias incluem fissuras, desplacamentos e corrosão de armaduras, que comprometem a integridade estrutural e apresentam riscos significativos, gerando custos elevados de reparo.

2.1.1. Mecanismos de Degradação

Os mecanismos de degradação em estruturas de concreto armado podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos. Formisano et al. (2019) enfatizam que fenômenos de corrosão e degradação são causas significativas de problemas de segurança em estruturas civis, resultando na perda de capacidade de resistência devido à redução da seção de aço e do concreto.

Corrosão de Armaduras: A corrosão do aço em estruturas de concreto armado constitui uma das principais ameaças à durabilidade. Harnisch et al. (2019) identificam dois mecanismos principais que causam a quebra da camada protetora passiva: (i) a carbonatação, caracterizada pela degradação em larga escala da camada passiva devido a reações químicas do dióxido de carbono com componentes alcalinos do concreto, resultando em queda do pH para aproximadamente 9; e (ii) a corrosão induzida por cloretos, que ocorre quando a concentração de cloretos no nível da armadura excede um valor crítico, levando à quebra localizada da camada passiva.

Benítez et al. (2019) complementam que a carbonatação induzida pela corrosão representa um risco significativo para estruturas de concreto armado, comprometendo a integridade estrutural através da corrosão do aço de reforço. El-Reedy (2007) destaca que a corrosão do concreto armado constitui um problema de bilhões de dólares para o investimento imobiliário global, enfatizando a necessidade de implementação de sistemas de gestão de integridade para estratégias de manutenção abrangentes.

Fissuração: As fissuras em estruturas de concreto podem originar-se de diversas causas, incluindo esforços estruturais (flexão, cisalhamento, torção e tração), retração, variações térmicas e recalques diferenciais. Mascarenhas et al. (2019) observam que os danos se manifestam através de fissurações oriundas de esforços estruturais, bem como por impactos ou incêndios.

Degradação Química: Além da carbonatação e corrosão, outros processos químicos contribuem para a degradação do concreto. Martins et al. (2016) identificam que eflorescências e lixiviação ocorrem pela migração e evaporação de soluções aquosas salinizadas ou concreto mal adensado, dissolvendo hidróxido de cálcio.

2.1.2. Metodologias de Diagnóstico

A identificação precoce de patologias estruturais é fundamental para a implementação de intervenções eficazes. Apaza (2024) ressalta que o diagnóstico precoce e a manutenção preventiva são fundamentais para prolongar a vida útil das construções e evitar riscos à segurança.

Ensaios Não Destrutivos (END): Omar et al. (2018) descrevem diversas metodologias de inspeção e diagnóstico para pontes de concreto, incluindo: (i) inspeção visual, embora subjetiva, constitui a abordagem padrão; (ii) testes de carga para avaliar os níveis de carga segura; (iii) avaliação não destrutiva, incluindo métodos como arrasto de corrente, ultrassom, radar de penetração no solo (GPR) e potencial de meia célula, permitindo a detecção precoce de

deterioração; e (iv) monitorização da saúde estrutural utilizando sensores para monitorar a resposta estrutural.

Gucunski et al. (2010) enfatizam a importância de múltiplas tecnologias complementares de avaliação não destrutiva para a avaliação de condição de tabuleiros de pontes de concreto. Bryden (2022) demonstra a aplicação prática dessas metodologias, empregando um programa de ensaios não destrutivos que incluiu levantamento de deterioração/delaminação utilizando GPR e levantamento de potencial de meia-célula para identificar áreas prováveis de corrosão, complementados por testes laboratoriais de amostras de núcleo.

Inspeção Visual Sistemática: Gonçalves et al. (2015) propõem uma abordagem sistemática para inspeção, diagnóstico e reparo, na qual o inspetor identifica anomalias através de análise visual e utiliza ferramentas do sistema para correlacionar com suas origens, estabelecer um diagnóstico preciso e determinar a melhor técnica de reparo.

2.2. Sistemas de Inspeção e Classificação de OAEs

No Brasil, a inspeção e avaliação do estado de conservação de pontes são regulamentadas pela ABNT NBR 9452:2023, que estabelece requisitos para inspeção de pontes, viadutos e passarelas, visando avaliar suas condições de segurança e desempenho.

2.2.1. Tipos de Inspeção

Segundo o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), as inspeções classificam-se em: (i) cadastral, realizada após a conclusão da obra para registro inicial; (ii) rotineira, programada com intervalos de um a dois anos, destinada a coletar informações por meios visuais; (iii) especial, efetuada com intervalos de no máximo cinco anos, normalmente realizadas quando julgado necessário após uma inspeção de rotina para análise mais precisa da estrutura; e (iv) extraordinária, realizada após eventos excepcionais como enchentes, terremotos ou acidentes.

2.2.2. Sistema de Classificação de Condição

A ABNT NBR 9452:2023 estabelece um sistema de classificação de condição baseado em parâmetros de durabilidade, funcionalidade e segurança estrutural. O critério de durabilidade possui características associadas à vida útil, ou seja, o tempo estimado em que as estruturas devem cumprir suas funções em serviço, resistindo contra-ataques de agentes ambientais agressivos.

A classificação de condição varia de 5 (excelente) a 1 (crítica), conforme apresentado na Tabela 1:

Tabela 1 – Classificação de Condições segundo Parâmetros de Durabilidade

Nota	Condição	Caracterização de Durabilidade

5	Excelente	A OAE apresenta-se em excelentes condições, exigindo apenas manutenções de rotina.
4	Boa	A OAE apresenta pequenas e poucas patologias que comprometem sua durabilidade.
3	Regular	A OAE apresenta pequenas e poucas patologias que comprometem sua durabilidade, em região de moderada e alta agressividade.
2	Ruim	A OAE apresenta patologias de moderadas a abundantes, que comprometem sua durabilidade, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	A OAE encontra-se em alto estágio de degradação, apontando problemas já de risco estrutural e desmoronamento.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 9452:2023 [19].

Alencar (2020) apud Garcia e Albuquerque (2025) observa que existe uma forte correlação entre anomalias patológicas, desempenho e durabilidade das estruturas, sendo possível definir o desempenho de uma estrutura com base nas suas manifestações patológicas.

2.3. Modelos de Avaliação de Risco Estrutural

A avaliação de risco estrutural em pontes constitui um campo de pesquisa fundamental para a gestão de infraestrutura. Cook et al. (2014) realizaram um estudo abrangente sobre taxas de falha de pontes, consequências e tendências preditivas, analisando dados históricos de colapsos nos Estados Unidos.

2.3.1. Taxas de Falha e Fatores de Risco

Um estudo publicado por Cook et al. (2014) identificou que nos Estados Unidos 53% das pontes que colapsaram já possuíam falhas estruturais conhecidas, calculando uma taxa de falha de 1 em cada 1.100 para estruturas deficientes. Os autores reforçaram que o risco de colapso por deterioração ou excesso de carga está diretamente ligado ao tempo de vida da obra.

Santos e Pfeil (2014) demonstram que pontes são estruturas que, com o tempo, sofrem de fadiga devido ao acúmulo de danos causados pela passagem contínua de diversos veículos, gerando variação de tensão na estrutura. Este problema intensificou-se nos últimos anos devido ao aumento no fluxo de veículos nas rodovias brasileiras, conforme registrado pela Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR, 2025), que constatou crescimento de 2,1% no tráfego de veículos pesados e 2,5% no de veículos leves em 2025.

2.3.2. Modelagem Probabilística

A modelagem probabilística constitui uma ferramenta fundamental para a avaliação quantitativa de risco estrutural. A distribuição binomial pode ser empregada para estimar a probabilidade de falha em um conjunto de estruturas, assumindo independência estatística entre elas. A probabilidade de que nenhuma estrutura falhe em um período determinado é dada por

Q^N, onde Q representa a probabilidade de sobrevivência de uma estrutura individual e N o número total de estruturas. Consequentemente, a probabilidade de ocorrência de pelo menos um evento de falha é dado por 1 - Q^N.

O valor esperado de falhas em um período é calculado por E = N × P, onde P representa a taxa de falha anual. Esta abordagem permite quantificar o risco agregado em um inventário de estruturas e subsidiar decisões de gestão de ativos de infraestrutura.

2.3.3. Cenário Brasileiro

Dados publicados pelo DNIT (2020) apresentam que 6151 OAEs que estavam sob sua responsabilidade, 903 estavam em estado de risco estrutural, sendo 159 estruturas com nota 1 (crítica) e 749 com nota 2 (problemática). No ano de 2020, em decorrência das restrições impostas pela pandemia de COVID-19, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) não disponibilizou dados sobre a extensão da malha rodoviária vistoriada, tampouco registros oficiais sobre o volume de colapsos estruturais naquele exercício.

Em anos adjacentes como em 2019 o DNIT inspecionou 108.863 km de rodovias, marca que evoluiu para 109.103 km em 2021, 111.502 km em 2023 e atingiu 111.853 km em 2024.

Em termos comparativos, observa-se uma progressão no número de OAEs sob jurisdição do DNIT, em 2023 foi registrado 6.355 OAEs, deste inventário, 162 estruturas foram classificadas em estado crítico (nota 1) e 725 como problemáticas (nota 2), totalizando 887 unidades em situação de risco. Dados de 2023 são muito similares com os dados de 2020 de 903 OAEs em situação de risco.

No ano de 2024 foi apresentado pelo mesmo órgão o número de 9 pontes que colapsaram no respectivo ano. Sendo esse o único relatório dos analisados que apresenta essa informação. Devido à similaridade dos dados de inspeção das rodovias e quantidades de OAEs diagnosticadas em situação de risco, pode-se prever uma similaridade de dados em anos anteriores em relação a queda dessas estruturas.

3. METODOLOGIA

3.1. Delineamento da Pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza descritiva, qualitativa, quantitativa e analítica, fundamentada em revisão bibliográfica sistemática e modelagem probabilística exploratória. A investigação não envolveu visitas técnicas às estruturas analisadas, baseando-se exclusivamente em dados secundários disponíveis na literatura científica e em relatórios institucionais.

3.2. Coleta e Análise de Dados

3.2.1. Fontes de Dados

A coleta de dados foi realizada mediante consulta a múltiplas fontes:

1. **Literatura Científica:** Artigos científicos nacionais e internacionais indexados em bases de dados acadêmicas, abrangendo temas relacionados a patologias estruturais, inspeção de pontes, avaliação de risco e gestão de infraestrutura.
2. **Relatórios Institucionais:** Documentos oficiais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), incluindo o Relatório de Gestão 2019, 2020, 2021, 2023, 2024, e o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias Brasileiras (2004).
3. **Publicações Técnicas:** Relatórios de entidades técnicas como a Confederação Nacional do Transporte (CNT), incluindo a Pesquisa CNT de Rodovias 2024 e estudos sobre pontos críticos nas rodovias brasileiras.
4. **Normas Técnicas:** ABNT NBR 9452:2023 (Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto) e ABNT NBR 7187:2021 (Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto).
5. **Dados Estatísticos:** Informações sobre o inventário nacional de pontes, distribuição geográfica, idade das estruturas e classificação de condição, obtidas de Santos et al. (2024) e outras fontes acadêmicas.

3.2.2. Critérios de Seleção

Os critérios de inclusão para seleção de fontes bibliográficas compreenderam:

- Relevância temática para patologias estruturais em pontes de concreto;
- Abordagem de metodologias de inspeção e diagnóstico;
- Apresentação de dados quantitativos sobre taxas de falha ou risco estrutural;
- Publicação em periódicos científicos revisados por pares ou relatórios institucionais oficiais;
- Disponibilidade de texto completo para análise detalhada.

3.3. Modelagem Probabilística

3.3.1. Fundamentação Teórica

A modelagem probabilística empregada neste estudo baseia-se na distribuição binomial, assumindo independência estatística entre as estruturas analisadas. Esta abordagem é apropriada para estimar a probabilidade de ocorrência de eventos raros (colapsos) em um conjunto de estruturas com características similares.

3.3.2. Parâmetros do Modelo

Os parâmetros utilizados na modelagem foram:

- **N:** Número total de estruturas no conjunto analisado (903 OAEs classificadas como críticas ou ruins pelo DNIT);
- **P:** Taxa de falha anual individual, obtida de Cook et al. (2014), correspondente a 1/1.100 ≈ 0,000909 ou 0,0909%;
- **Q:** Probabilidade de sobrevivência individual, calculada como Q = 1 - P ≈ 0,999091.

3.3.3. Cálculos Realizados

Probabilidade de Nenhuma Falha:

A probabilidade de que nenhuma das N estruturas sofra colapso em um período de um ano é dada por:

P(0 falhas) = Q^N = (0,999091)^903 ≈ 0,4437 ou 44,37%

Probabilidade de Pelo Menos Uma Falha:

A probabilidade de ocorrência de pelo menos um colapso em um ano é:

P(≥1 falha) = 1 - Q^N ≈ 1 - 0,4437 ≈ 0,5563 ou 55,63%

Valor Esperado de Falhas:

O número esperado de colapsos em um ano é calculado por:

E = N × P = 903 × 0,000909 ≈ 0,821 colapsos/ano

Isto corresponde a uma expectativa de um colapso a cada 1/0,821 ≈ 1,22 anos, ou aproximadamente 15 meses.

Projeções Temporais:

Para períodos superiores a um ano, a probabilidade de pelo menos uma falha aumenta significativamente:

- **2 anos:** P(≥1 falha) = 1 - Q^(2N) ≈ 80,7%
- **5 anos:** P(≥1 falha) = 1 - Q^(5N) ≈ 98,0%

3.3.4. Limitações do Modelo

É fundamental reconhecer as limitações inerentes à modelagem probabilística empregada:

1. **Transferibilidade de Dados:** A taxa de falha de 1/1.100 foi obtida de estudos realizados nos Estados Unidos, onde as condições de manutenção, clima, padrões de tráfego e práticas de gestão podem diferir significativamente do contexto brasileiro.
2. **Independência Estatística:** O modelo assume independência entre as estruturas, o que pode não refletir completamente a realidade, considerando que fatores sistêmicos

(políticas de manutenção, recursos disponíveis, capacitação técnica) afetam múltiplas estruturas simultaneamente.

3. **Homogeneidade do Conjunto:** O modelo divide as 903 OAEs em estado crítico e problemático, seguindo os parâmetros de classificação da 9452:2023, sendo 159 estruturas em estado crítico (nível 1) e 749 em estado problemático (nível 2), ambas possuindo risco de queda.
4. **Ausência de Intervenções:** Os cálculos pressupõem a ausência de intervenções de manutenção ou reabilitação durante o período analisado, representando um cenário conservador.

Não obstante estas limitações, a modelagem fornece uma estimativa quantitativa útil para dimensionar a magnitude do risco e subsidiar discussões sobre políticas de gestão de infraestrutura.

Considerando que a taxa de falha de 1/1.100 foi derivada de estudos norte-americanos (COOK et al., 2014), propõe-se a aplicação de um fator de ajuste (FA) para aproximar o modelo à realidade brasileira. Como proxy para as condições de manutenção, utiliza-se a comparação entre os percentuais de rodovias em estado inadequado nos dois países:

Segundo o Relatório CNT de Rodovias 2024, 67,0% da malha rodoviária brasileira avaliada foi classificada como regular, ruim ou péssima. Em comparação, dados do Federal Highway Administration (FHWA, 2023) indicam que aproximadamente 7,5% das pontes nos EUA são classificadas como estruturalmente deficientes.

Adotando como fator de ajuste a razão entre os índices de degradação da infraestrutura:

FA = (% rodovias inadequadas BR) / (% pontes deficientes EUA) = 67,0% / 7,5% ≈ 8,9

Aplicando o fator de ajuste à taxa de falha original:

P_ajustada = (1/1.100) × FA_normalizado

Ressalta-se que este ajuste é exploratório e de natureza qualitativa, dado que os indicadores comparados não são diretamente equivalentes. Contudo, o exercício demonstra que, sob condições de manutenção brasileiras, a probabilidade de colapso tende a ser significativamente superior à estimada pelo modelo original, reforçando a urgência das intervenções. Recomenda-se que estudos futuros utilizem dados diretos de taxas de colapso de pontes brasileiras — como os 9 colapsos registrados pelo DNIT em 2024 — para calibrar modelos probabilísticos específicos para o contexto nacional.

3.3.5. Proposta de Reclassificação da OAESs Críticas

Para aprimorar o rigor da análise probabilística, o presente estudo propõe que estudos futuros realizem a reclassificação das 903 OAEs em estado crítico ou problemático segundo quatro critérios complementares: (i) faixa etária, segmentando as estruturas em grupos de até 30 anos, de 30 a 50 anos e acima de 50 anos de idade, considerando que estruturas mais antigas apresentam taxas de falha potencialmente superiores à média adotada; (ii) tipologia estrutural, distinguindo pontes de vigas T, vigas caixão, arcos, estruturas protendidas e treliças metálicas, uma vez que cada sistema estrutural possui mecanismos de deterioração e vulnerabilidades específicas; (iii) Classe de Agressividade Ambiental (CAA) conforme ABNT NBR 6118:2023, classificando as estruturas em ambientes rurais (CAA I), urbanos (CAA II), marinhos ou industriais (CAA III e IV), dado que a agressividade ambiental acelera os processos de corrosão e carbonatação; e (iv) volume médio diário de tráfego (VMDa), diferenciando estruturas submetidas a tráfego leve, médio e pesado, visto que o acúmulo de ciclos de carga é determinante para a fadiga estrutural. A ausência de dados desagregados nessa granularidade nos relatórios públicos disponíveis constitui, em si, uma limitação sistêmica da gestão de OAEs no Brasil, reforçando a necessidade de modernização do inventário nacional

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O panorama nacional evidencia significativa discrepância entre o inventário estimado de 113.168 pontes rodoviárias e os 6.151 registros oficiais do DNIT, indicando lacuna aproximada de 94% no conhecimento da infraestrutura. Apenas 13% das estruturas possuem histórico de inspeções documentado, deixando mais de 98.000 pontes sem avaliação formal de condição estrutural.

A existência de 98.000 pontes carente de avaliações formais de integridade configura um cenário de risco iminente à infraestrutura nacional. O caso da Ponte Juscelino Kubitschek exemplifica a insuficiência dos protocolos atuais: embora tenha sido submetida a uma inspeção de rotina em 2020, na qual se constatou comprometimento estrutural, o diagnóstico isolado não foi capaz de viabilizar as intervenções necessárias. Observa-se, portanto, uma dualidade crítica: por um lado, a ineficácia das ações corretivas em estruturas já monitoradas e, por outro, a total ausência de dados sobre ativos não cadastrados, cujas condições de estabilidade permanecem desconhecidas.

Do ponto de vista da gestão pública, essa lacuna representa um passivo de risco não quantificado que compromete a alocação eficiente de recursos orçamentários. A ausência de dados estruturados sobre o estado de conservação das pontes impede a priorização racional de intervenções, resultando em manutenções reativas e de maior custo. Estudos internacionais demonstram que cada real investido em manutenção preventiva evita entre R$ 5 e R$ 10 em custos de reabilitação ou reconstrução (FHWA, 2023). Nesse contexto, a adoção de estratégias de manutenção baseada em risco (MBR) metodologia que prioriza intervenções conforme a probabilidade de falha e a severidade das consequências emerge como alternativa técnica e economicamente viável para a gestão das OAEs brasileiras. A implementação de um sistema

nacional de gestão de pontes (Bridge Management System BMS), integrado ao inventário do DNIT e alimentado por inspeções periódicas, permitiria identificar, classificar e priorizar as estruturas com maior risco de colapso, otimizando o uso dos recursos públicos disponíveis

Cerca de 37% das pontes brasileiras possuem mais de 50 anos, tendo sido projetadas sob normas que previam carregamentos substancialmente inferiores aos atuais. A evolução normativa (NB-6/1946, NB-6/1960 e NBR 7188/1982) demonstra que estruturas antigas operam sob cargas até 87,5% superiores às originalmente previstas, intensificando processos de fadiga e deterioração.

Esse descompasso entre o carregamento de projeto e o carregamento real implica redução significativa da vida útil residual dessas estruturas. Para pontes projetadas na década de 1960 ou 1970, com vida útil de projeto (VUP) nominal de 50 anos, o término do período de desempenho garantido já ocorreu ou está próximo, sem que as condições de serviço tenham sido aliviadas pelo contrário, o tráfego de veículos pesados cresceu continuamente. Agrava esse cenário o fato de que as normas vigentes à época, em especial a NB-6/1960 e a NBR 7188/1982, não contemplavam de forma explícita o fenômeno da fadiga estrutural em seus critérios de projeto. A fadiga, caracterizada pelo acúmulo de danos microscópicos em elementos estruturais submetidos a ciclos repetidos de carregamento variável, pode conduzir a falhas progressivas mesmo sob cargas inferiores à capacidade última da estrutura fenômeno que só passou a ser sistematicamente tratado nas normas brasileiras a partir da NBR 7187:2003 e, com maior rigor, na versão de 2021. Estruturas projetadas sem critérios de fadiga e submetidas a décadas de tráfego crescente apresentam, portanto, probabilidade de falha superior à estimada por modelos baseados apenas na classificação de condição visual, reforçando a necessidade de inspeções especiais com ensaios não destrutivos para avaliação da integridade dos elementos mais solicitados.

Das OAEs sob responsabilidade do DNIT, 903 foram classificadas como críticas ou problemáticas, sendo 159 estruturas em estado crítico (nível 1) e 749 em estado problemático (nível 2), ambas possuindo risco de queda. As regiões Norte e Nordeste apresentam as piores médias de condição, com estados como Pará, Maranhão e Piauí registrando classificações inferiores a 1,5, indicativas de elevado risco estrutural.

As principais manifestações patológicas incluem fissuração, corrosão das armaduras, desagregação do concreto, infiltrações e danos por impactos. O processo de degradação resulta da combinação de ações mecânicas, fenômenos químicos (carbonatação e corrosão), agentes biológicos e aumento do tráfego. Dados recentes indicam crescimento contínuo do fluxo de veículos pesados, agravando a fadiga estrutural.

A aplicação de modelagem probabilística às 903 OAEs críticas resultou em probabilidade de 55,6% de ocorrência de pelo menos um colapso anual, com valor esperado de 0,82 colapsos/ano, equivalente a um evento a cada 15 meses na ausência de intervenções. Em horizonte de cinco anos, a probabilidade aproxima-se de 98%, evidenciando risco acumulado elevado. Ressalta-se que o modelo considera taxa de falha baseada em estudos internacionais e

apenas estruturas oficialmente classificadas, podendo o risco real ser superior diante da baixa cobertura de inspeções.

Os estudos de caso reforçam a análise estatística. O colapso da Ponte Juscelino Kubitschek (1961) ocorreu quatro anos após classificação como crítica, evidenciando que diagnóstico sem intervenção é insuficiente. Casos recentes de interdição preventiva demonstram a importância de inspeções regulares para mitigação do risco. Dados da CNT indicam que 48,1% das pontes colapsadas entre 2012 e 2022 ocorreram na região Norte, majoritariamente sob gestão pública, apontando fragilidades sistêmicas na manutenção e gestão da infraestrutura.

5. CONCLUSÃO

O estudo realizou uma análise sistemática do risco estrutural em pontes de concreto brasileiras, correlacionando idade, condição estrutural conforme a ABNT NBR 9452:2023 e deficiências nos sistemas de inspeção e manutenção. Observou-se significativa lacuna no inventário nacional, com discrepância entre o número estimado de pontes e os registros oficiais, além de baixa cobertura de inspeções atualizadas.

Cerca de 37% das estruturas possuem mais de 50 anos e foram projetadas para solicitações inferiores às atualmente exigidas, o que, aliado ao aumento do tráfego pesado, intensifica processos de deterioração e fadiga. A modelagem probabilística aplicada às OAEs classificadas como críticas ou ruins indicou elevada probabilidade de ocorrência de colapsos em curto e médio prazo na ausência de intervenções.

Os resultados evidenciam desigualdades regionais na condição das estruturas e reforçam que diagnósticos isolados, sem ações corretivas imediatas, são insuficientes para garantir a segurança estrutural. Conclui-se pela necessidade urgente de implementação de políticas integradas de gestão de pontes, com inventário nacional consolidado, ampliação da cobertura de inspeções, adoção de sistemas de gestão baseados em risco, capacitação técnica e financiamento contínuo da manutenção preventiva.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: **Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido** – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9452: **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto** – Procedimento**.** Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

APAZA, F. R. **Patologia estrutural e reparo das estruturas de concreto.** Revista Fisio&Terapia, v. 28, n. 11, p. 1714–1732, 2024. DOI: https://doi.org/10.69849/revistaft/cs10202411301714.

BENÍTEZ, P. A. et al. **Efficiency analysis of optimal inspection management for reinforced concrete structures under carbonation-induced corrosion risk.** Construction and Building Materials, v. 211, p. 1000–1012, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.028.

BRYDEN, P. **Assessment and rehabilitation of a 50-year old concrete bridge deck in Nackawic NB**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CIVIL ENGINEERING, 2022. Proceedings... Singapore: Springer, 2022. p. 485–498. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-0503-2_39.

COOK, W.; BARR, P. J.; HALLING, M. W. **Bridge failure rates, consequences, and predictive trends**: Report No. UT-14.09. Logan: Utah State University; Salt Lake City: Utah Department of Transportation, Research Division, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de inspeção de pontes rodoviárias brasileiras**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2004

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Relatório de Gestão 2019**. Brasília, DF: DNIT, 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Relatório de Gestão 2020**. Brasília, DF: DNIT, 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Relatório de Gestão 2021**. Brasília, DF: DNIT, 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Relatório de Gestão 2023**. Brasília, DF: DNIT, 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Relatório de Gestão 2024**. Brasília, DF: DNIT, 2025.

EL-REEDY, M. A. **Steel-reinforced concrete structures: assessment and repair of corrosion.** Boca Raton: CRC Press, 2007.

FORMISANO, A. et al. **Advanced methods and techniques against the degradation of civil structures: detection, evaluation and retrofitting.** The Open Construction and Building Technology Journal, v. 13, p. 197–215, 2019. DOI: https://doi.org/10.2174/1874836801913010197.

GARCIA, M. P.; ALBUQUERQUE, R. S. **Correlação entre manifestações patológicas e desempenho estrutural em pontes de concreto.** Revista Brasileira de Engenharia de Estruturas, v. 12, n. 4, p. 156–173, 2025.

GONÇALVES, A. et al. **Systematic approach to inspect, diagnose, and repair masonry walls.** Journal of Performance of Constructed Facilities, v. 29, n. 5, 2015. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000650.

GUCUNSKI, N. et al. **Multiple complementary nondestructive evaluation technologies for condition assessment of concrete bridge decks.** Transportation Research Record, n. 2201, p. 34–44, 2010. DOI: https://doi.org/10.3141/2201-05.

HARNISCH, J. et al. **The new DGZfP Specification B12 "Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures**". In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-DESTRUCTIVE TESTING, 2019. Proceedings... 2019.

MARTINS, L. F. et al. **Investigação de manifestações patológicas em sistemas estruturais de concreto armado: estudo de caso em edificação pública.** Revista de Patologia das Construções, v. 8, n. 2, p. 67–84, 2016.

MASCARENHAS, F. J. R. *et al*. **Análise de manifestações patológicas em viadutos de concreto: estudo de caso realizado em viadutos localizados em Teresina** – PI. **Revista Fisio&Terapia**, [s. l.], v. 23, n. 4, p. 89–105, 2019

OMAR, T. et al. **Condition assessment of reinforced concrete bridges: current practice and research challenges**. Infrastructures, v. 3, n. 3, p. 36, 2018. DOI: https://doi.org/10.3390/infrastructures3030036.

SANTANA, M. R.; NETO, J. A.; LIMA, P. F. **Manifestações patológicas em obras de arte especiais: análise e prevenção**. Revista de Engenharia Civil, v. 18, n. 3, p. 112–128, 2022.

SANTOS, J. P. et al. **Panorama geral das pontes no Brasil**. Revista Brasileira de Infraestrutura, v. 15, n. 2, p. 45–67, 2024.

SANTOS, L. M.; PFEIL, M. S. **Análise de fadiga em pontes de concreto armado sob tráfego de veículos pesados**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 7, n. 5, p. 789–812, 2014.

SANTOS, R. M. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado. Revista de Construção Civil**, v. 12, n. 1, p. 34–52, 2024. DOI: https://doi.org/10.29327/41406228.

SILVA, A. C. et al. **Structural and functional conditions of bridges and viaducts on federal highways in Pernambuco.** Revista ALCONPAT, v. 8, n. 1, p. 74–88, 2018. DOI: https://doi.org/10.21041/RA.V8I1.199.

CAPÍTULO 49 · Parte III · Infraestrutura e projetos complementares
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/z35pk835
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/7da7tv33

REFORÇO DOS PENDURAIS DA PONTE EURICO GASPAR DUTRA/RJ COM O USO DE BARRAS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRAS

Luiz Antonio Vieira Carneiro[1]*, Mayra Soares Pereira Lima Perlingeiro[2];
Marco Aurélio Chaves Ferro[3]
*Autor de contato: luizcarneiro@id.uff.br

[1] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, Brasil
[2] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, Brasil
[3] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, Brasil

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar o dimensionamento do reforço dos pendurais da ponte Eurico Gaspar Dutra sobre o canal da praia da Marambaia, situada na cidade do Rio de Janeiro/RJ. Esta ponte em arco duplo de concreto armado foi construída a partir do ano de 1943. Após uma vistoria técnica, manifestações patológicas foram encontradas nos pendurais de dois vãos de 63 m e o reforço estrutural destes foi recomendado. Para se obter a armadura de reforço dos pendurais, sua armadura interna foi calculada por meio de normas técnicas vigentes à época da construção da ponte. Devido às severas condições de agressividade ambiental, foi indicada a utilização de barras de polímero reforçado com fibras como armadura de reforço dos pendurais, cujas características estão reunidas neste trabalho.
Palavras-chave: Reforço; ponte; concreto armado; pendurais; barras de polímero reforçado com fibras.

ABSTRACT

This work aims to present the ties strengthening design of Eurico Gaspar Dutra bridge over the Marambaia beach canal, located in Rio de Janeiro/RJ city. This double-arch reinforced concrete bridge was built starting in 1943. Following a technical inspection, pathological manifestations were found in the ties of two spans of 63 m, and their structural strengthening was recommended. To obtain the strengthening reinforcement for the ties, their internal reinforcement was calculated using technical standards in force at the time of the bridge's construction. Due to the harsh environmental conditions, the use of fiber-reinforced polymer bars as reinforcement for the ties was indicated, and their characteristics are presented in this work.
Keywords: Strengthening; bridge; reinforced concrete; ties; fiber-reinforced polymer bars.

1. INTRODUÇÃO

Pendurais em concreto armado de pontes em arco são elementos estruturais normalmente verticais que trabalham à tração, têm a função de apoiar o tabuleiro inferior e transferir o peso deste para os arcos superiores e possuem armadura transversal (estribos) para controlar fissuração do concreto.

Os pendurais tratados neste trabalho situam-se nos vãos de 63 m da ponte Eurico Gaspar Dutra, cuja seção transversal é constituída por lajes em concreto armado de 20 cm de espessura apoiadas sobre 2 longarinas, 14 transversinas de vão e 2 transversinas de apoio.

Armaduras expostas corroídas, sendo algumas de suas barras de aço rompidas, são as principais manifestações patológicas encontradas a partir de uma vistoria técnica realizada.

Alguns estudos abordam o uso de barras de FRP em deferentes elementos estruturais de concreto (BENMOKRANE *et al.*,1995, CHAALLAL e BENMOKRANE, 1996, EL-NEMR *et al.*,2013), tais como longarinas e lajes de pontes.

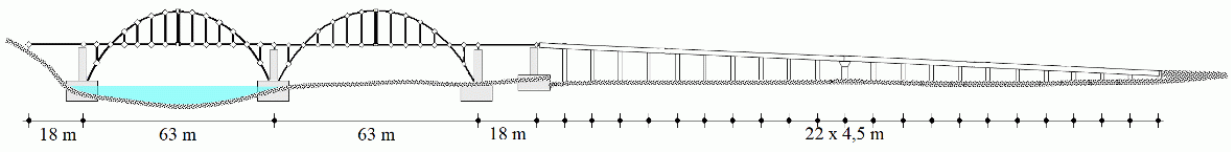
Neste trabalho é apresentado o dimensionamento do reforço dos pendurais da ponte Eurico Gaspar Dutra sobre o canal da praia da Marambaia, situada na cidade do Rio de Janeiro/RJ. A armadura de reforço indicada para estes pendurais foi composta por barras de polímero reforçado com fibras de vidro ou de basalto, cujo cálculo foi realizado após ter sido obtida sua armadura interna.

2. DESCRIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA PONTE

A ponte Eurico Gaspar Dutra é constituída por elementos estruturais em concreto armado, cujo tabuleiro tem 7,25 m de largura. Possui 261 m de comprimento total, dividido em 2 vãos de 18 m (36 m de extensão) de ponte em vigas, 2 vãos de 63 m (126 m de extensão) de ponte em duplo arco tri-articulado e 22 vãos de 4,5 m (99 m de extensão) de ponte em lajes.

A Figura 1 mostra um esboço do perfil longitudinal da ponte, enquanto as Figuras 2 a 4 ilustram vistas parciais datadas dos diferentes vãos da ponte com posição da lente para ou contra a praia.

Figura 1 - Esboço do perfil longitudinal da ponte



Fonte: os autores.

Figura 2 - Vista dos vãos de 63 m – Data: 18/01/2023



(a) posição da lente para a praia



(b) posição da lente contra a praia

Fonte: os autores.

Figura 3 - Vista dos vãos de 18 m – Data: 18/01/2023



(a) vão mais próximo da entrada da ponte posição da lente contra a praia



(b) vão mais afastado da entrada da ponte posição da lente contra a praia

Fonte: os autores.

Figura 4 - Vista dos 22 vãos de 4,5 m (posição da lente contra a praia) – Data: 19/01/2023



Fonte: os autores.

3. ESTADO DOS TIRANTES DA PONTE

As principais causas do aparecimento das manifestações patológicas nos pendurais da ponte foram a falta de conservação, a espessura do cobrimento de concreto insuficiente e o ataque de sais cloreto no concreto da ponte.

Na época da construção dessa ponte, a norma vigente NB-2 (ABNT, 1940b) recomendava valores para cobrimento mínimo do concreto iguais a 15 mm, para lajes ao ar livre, e 20 mm, para vigas, pilares e arcos ao ar livre. Estes valores são pequenos para se garantir uma estrutura durável com vida útil elevada. Em contrapartida, a norma atual NBR 6118 (ABNT, 2023) prevê, considerando classe de agressividade ambiental III (agressividade forte), valores maiores para cobrimento mínimo do concreto (35 mm, para lajes, e 40 mm, para vigas e pilares).

Pode-se ver, nas Figuras 5(a) e 5(b), armaduras expostas corroídas na maioria dos pendurais do vão de 63 m mais afastado da entrada da ponte.

Figura 5 - Vista geral dos pendurais do vão de 63 m mais afastado da entrada da ponte - Data 19/01/2023



(a) pendurais voltados para a praia



(b) pendurais voltados contra a praia

Fonte: os autores.

Pode-se visualizar, na Figura 6, barras de aço que compõem a armadura longitudinal dos pendurais, no meio do vão de 63 m mais afastado da entrada da ponte, expostas e corroídas, além de uma destas barras rompida.

Figura 6 - Detalhe dos pendurais no meio do vão de 63 m mais afastado da entrada da ponte (posição da lente contra a praia) - Data 18/01/2023



Fonte: os autores.

4. CÁLCULO DA ARMADURA INTERNA DOS PENDURAIS

Em função da época de construção da ponte, no início dos anos de 1940, não foram encontrados dados sobre o projeto estrutural original da ponte. As normas em vigência no país eram a NB-1, sobre cálculo e execução de obras de concreto armado (ABNT, 1946a), a NB-2, sobre cálculo e execução de pontes de concreto armado (ABNT, 1946b), e a NB-6, sobre carga móvel em pontes rodoviárias (ABNT, 1946c). Portanto, estas foram adotadas no cálculo da armadura dos pendurais.

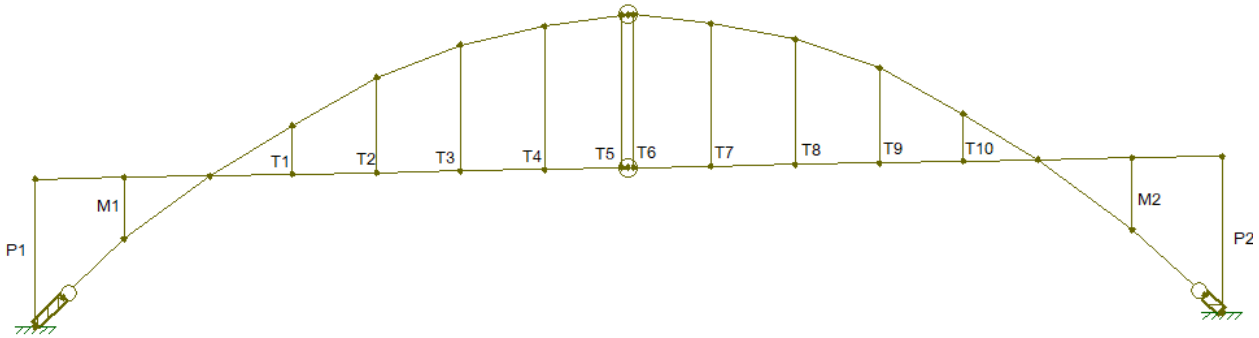
Como a ponte foi projetada anteriormente à norma EB-3, que tratava sobre condições de emprego das barras de aço destinadas à armadura de peças de concreto armado (ABNT, 1967), esta não foi utilizada na análise da ponte existente e o fenômeno da fadiga não foi estudado no projeto original.

Apesar dos ensaios não destrutivos referentes à determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica do concreto da ponte mostrarem que sua resistência característica à compressão foi igual a 18 MPa (CARNEIRO *et al*., 2025), por segurança, adotou-se nos cálculos, o valor igual a 15 MPa, valor este comumente adotado nos projetos de pontes daquela época.

O aço usado na ponte foi o do tipo CA-37, na forma de barras lisas, cuja resistência ao escoamento admitida foi 250 MPa. Este tipo de aço era frequentemente utilizado na construção de pontes.

Os dez pendurais de um dos dois arcos que sustentam o tabuleiro de um dos dois vãos de 63 m de comprimento da ponte estão numerados de T1 a T10, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 – Numeração dos pendurais



Fonte: os autores.

Os dados da altura e do peso próprio de cada um dos pendurais de 40 cm x 70 cm de seção transversal estão reunidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados dos pendurais

Pendural	h (m)	P (kN)
T1	1,41	9,84
T2	3,97	27,79
T3	5,65	39,55
T4	6,72	47,04
T5	7,50	52,50
T6	7,50	52,50
T7	6,74	47,18
T8	5,70	39,90
T9	3,95	27,65
T10	1,42	9,94

Fonte: os autores.

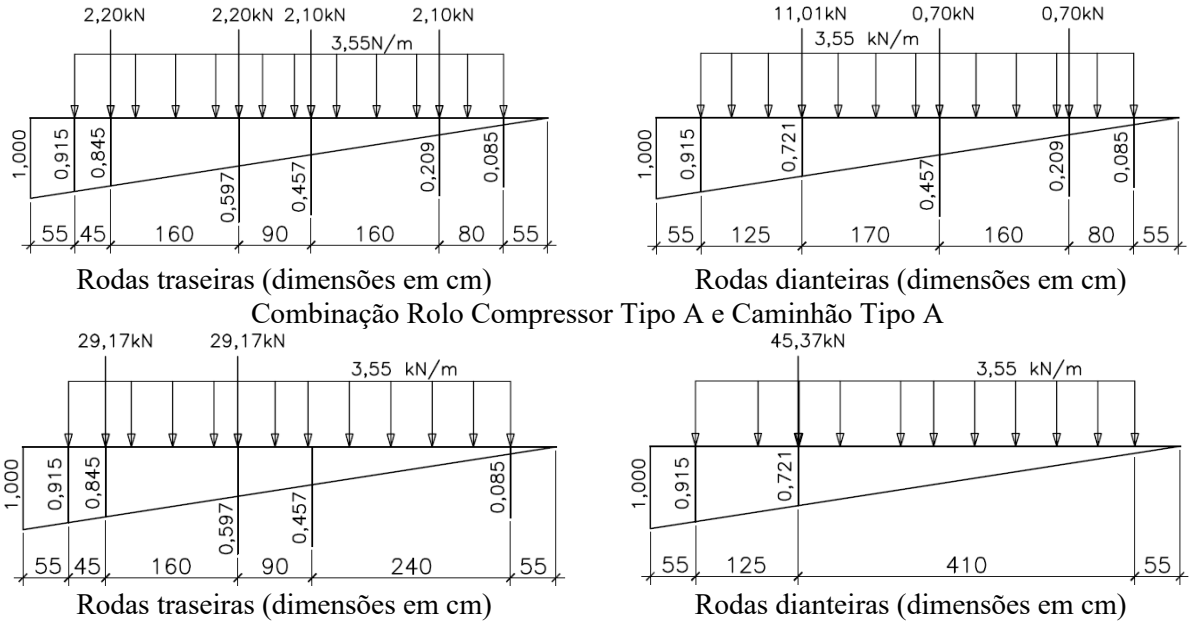
A sobrecarga permanente refere-se à pavimentação e ao guarda-corpo. Considerou-se uma espessura de 15 cm de pavimentação e faixa de rolamento de 5,35 m de comprimento, enquanto a carga provocada pelo guarda-corpo é 8,0 kN/m (incluindo seu peso próprio). Por conta disso, o carregamento de sobrecarga permanente para uma longarina do vão de 63 m é 17,63 kN/m.

Em relação à carga móvel, o coeficiente de impacto ϕ de 1,30 foi utilizado conforme a norma NB-2 (ABNT, 1946b). O trem-tipo de projeto adotado foi a combinação entre o caminhão tipo A e o rolo compressor tipo A, além do rolo compressor tipo B isolado, cuja disposição é vista na Figura 8.

Em relação aos carregamentos g_1 (peso próprio estrutural) e g_2 (peso dos guardas rodas, guarda-corpos e pavimentação), as Figuras 9 a 12 ilustram as solicitações seccionais (força normal e momento fletor), enquanto as Tabelas 2 e 3 resumem as solicitações (força normal e momento fletor) de dimensionamento nos pendurais mais solicitados.

Para a determinação dessas solicitações, utilizou-se um programa computacional para a análise estrutural de pórticos planos, que analisa um modelo estrutural fornecendo diagramas de esforços internos, deformadas, linhas de influência em qualquer ponto da estrutura e envoltórias de esforços para trens-tipo.

Figura 8 – Trem-tipo de projeto



Rodas traseiras (dimensões em cm) Rodas dianteiras (dimensões em cm)

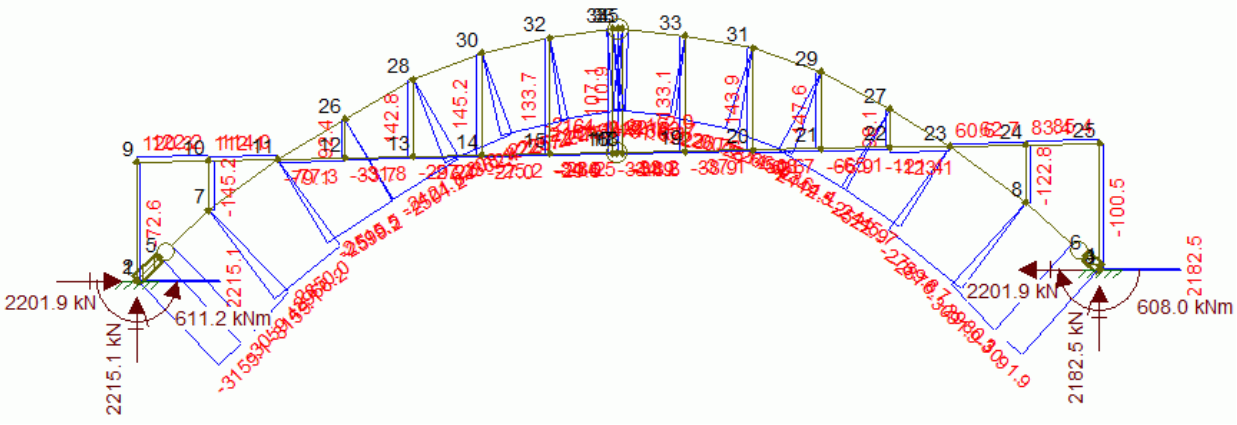
Combinação Rolo Compressor Tipo A e Caminhão Tipo A

Rodas traseiras (dimensões em cm) Rodas dianteiras (dimensões em cm)

Rolo Compressor Tipo B isolado

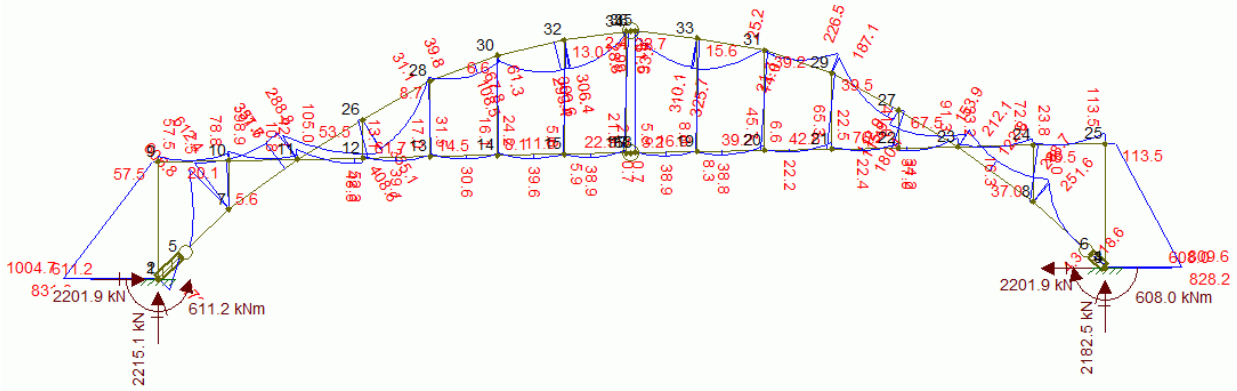
Fonte: os autores.

Figura 9 – Diagrama de forças normais (kN) – g_1



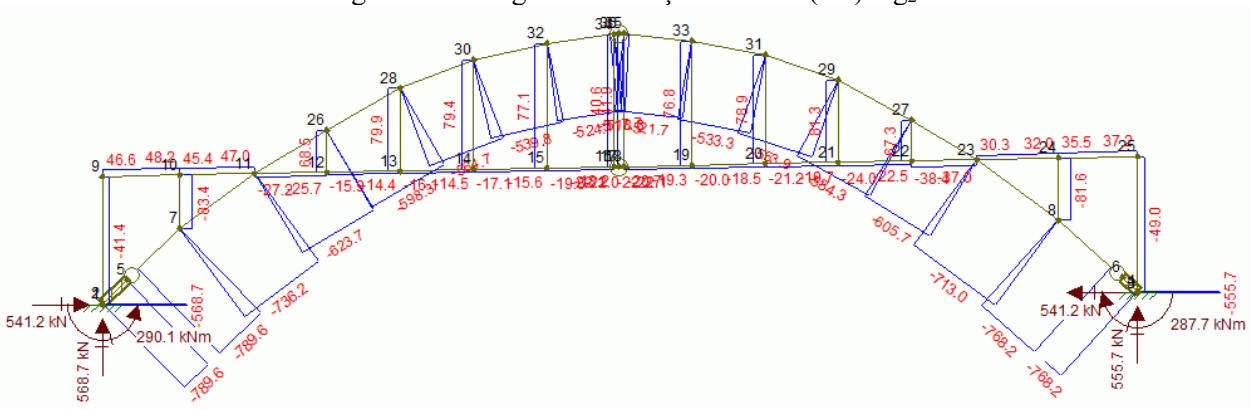
Fonte: os autores.

Figura 10 – Diagrama de momentos fletores (kN.m) – g_1.



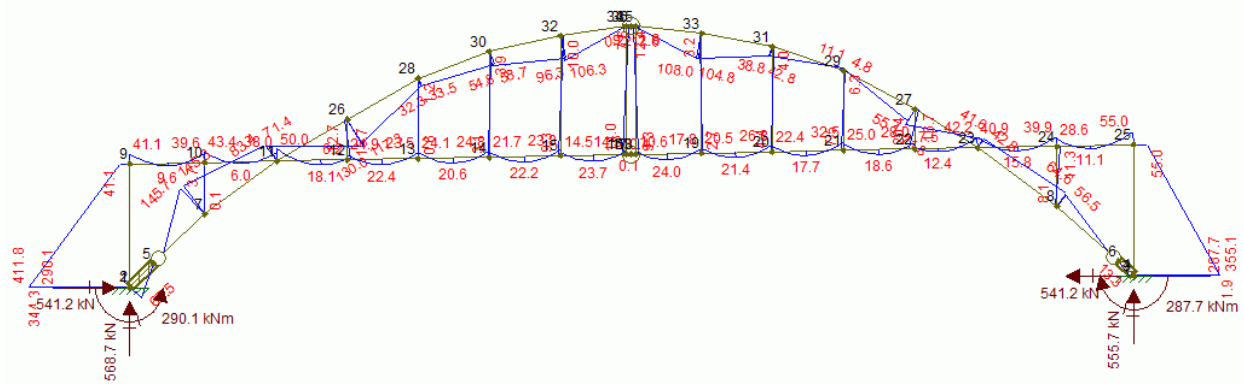
Fonte: os autores.

Figura 11 – Diagrama de forças normais (kN) – g_2.



Fonte: os autores.

Figura 12 – Diagrama de momentos fletores (kN.m) – g_2



Fonte: os autores.

Tabela 2 – Solicitações nos pendurais – g_1

Pendural	N (kN)	M (kN.m)	
T9	147,6	Topo	39,5
		Base	42,8
T10	98,1	Topo	67,5
		Base	76,2

Fonte: os autores.

Tabela 3 – Solicitações nos pendurais – g_2

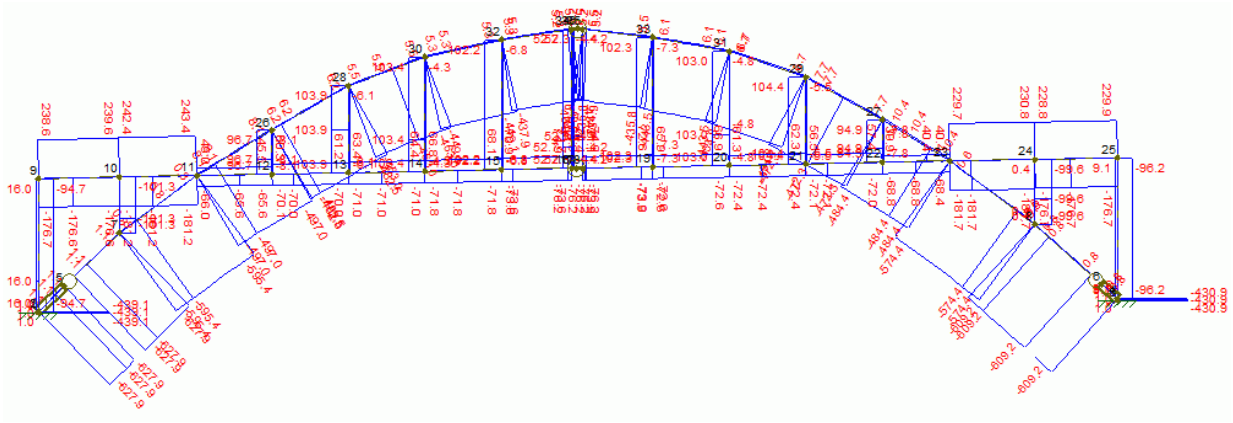
Pendural	N (kN)	M (kN.m)	
T9	81,6	Topo	6,3
		Base	7,5
T10	67,3	Topo	16,7
		Base	20,4

Fonte: os autores.

As Figuras 13 e 14 ilustram as solicitações seccionais (força normal e momento fletor) nos pendurais devidas à carga móvel.

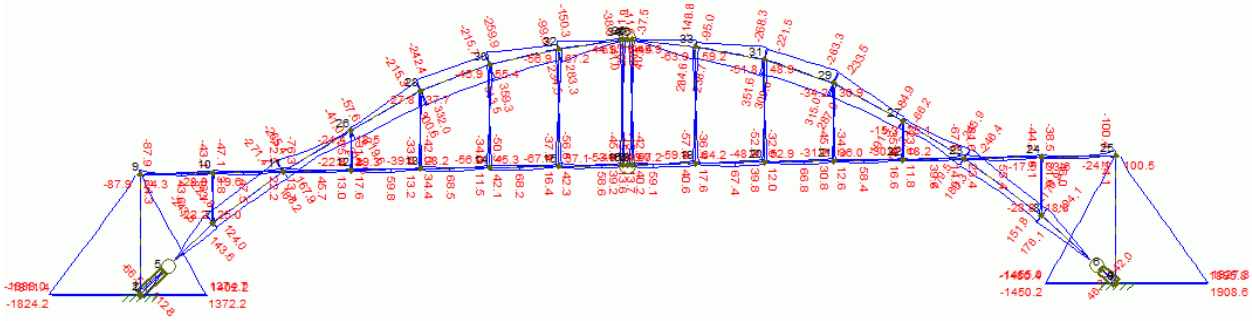
As solicitações máximas de força normal e momento fletor devidas à carga móvel para os pendurais seguem na Tabela 4. O valor negativo da força normal representa compressão, enquanto o valor positivo, tração.

Figura 13 – Diagrama de forças normais (kN) – carga móvel



Fonte: os autores.

Figura 14 – Diagrama de momentos fletores (kN.m) – carga móvel



Fonte: os autores.

Tabela 4 – Solicitações nos pendurais – carga móvel

Pendural	N (kN)		M (kN.m)		
T4	máx	102,2	Topo	máx	67,2
				mín	-56,9
	mín	-6,8	Base	máx	57,1
				mín	-67,4

Fonte: os autores.

A força normal de cálculo e o momento fletor de cálculo máximos ocorreu para o pendural T9 e foram iguais a 331,4 kN e 164,0 kN.m.

Em serviço, a tensão máxima de tração em um elemento estrutural de concreto armado é 150 MPa. Para a força normal de cálculo igual a 331,4 kN, a área necessária de aço, desconsiderando a resistência do concreto à tração, é igual a 331,4 × 10^3 N / 150 MPa = 2209,3 mm^2 = 22,1 cm^2.

Na direção do maior lado do pendural, adotando-se o braço de alavanca igual a 90% da altura útil, o valor da área de aço necessária ao longo do lado de 70 cm do pendural é igual a 164,0 × 10^6 N.mm / (150 MPa × 0,9 × 0,9 × 400 mm) = 3374,5 mm^2 = 33,7 cm^2.

Na direção do menor lado do pendural, adotando-se o braço de alavanca igual a 90% da altura útil, o valor da área de aço necessária ao longo do lado de 40 cm do pendural é igual a 164,0 × 10^6 N.mm / (150 MPa × 0,9 × 0,9 × 700 mm) = 1928,3 mm^2 = 19,3 cm^2.

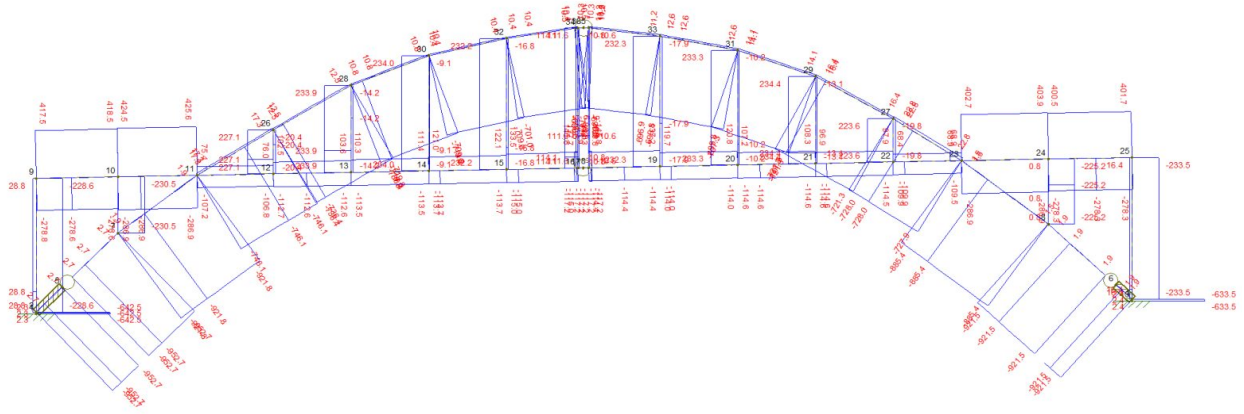
Portanto, a armadura interna de aço total é 22,1 cm^2 + 33,7 cm^2 + 19,3 cm^2 = 75,1 cm^2, o que equivale a 16 barras de 25 mm de diâmetro. Esta armadura é igual à que está nos pendurais da ponte.

5. CÁLCULO DA ARMADURA DE REFORÇO DOS PENDURAIS

Para o cálculo da armadura de reforço dos pendurais da ponte, foi adotado o trem-tipo TB-450 da norma NBR 7188 (ABNT, 2024), cuja carga móvel é definida por um veículo-tipo de 450 kN, com seis rodas de 75 kN de peso, três eixos de carga afastados entre si em 1,5 m e área de ocupação de 18 m^2, circundada por uma carga uniformemente distribuída constante de 5 kN/m^2.

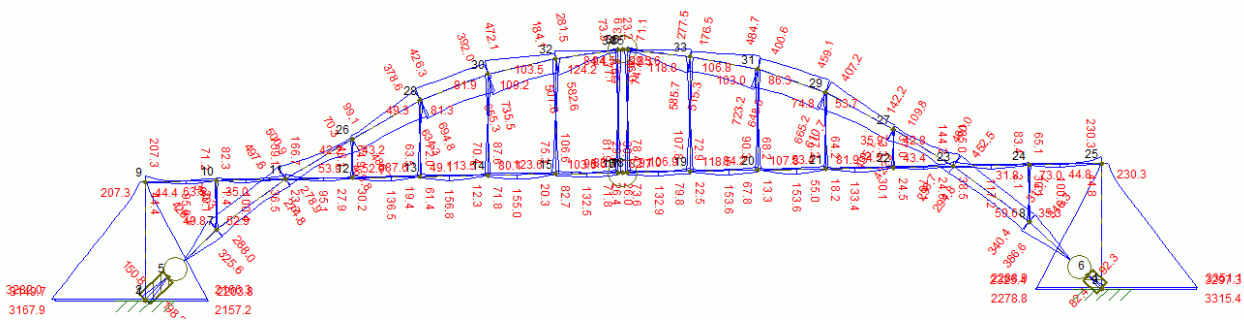
As Figuras 15 e 16 ilustram as solicitações seccionais (força normal e momento fletor) nos pendurais devidas à carga móvel TB-450.

Figura 15 – Diagrama de forças normais (kN) – TB-450



Fonte: os autores.

Figura 16 – Diagrama de momentos fletores (kN) – TB-450



Fonte: os autores.

As Tabelas 5 e 6 apresentam os valores das solicitações de força normal e momento fletor, devidos às ações permanentes e às cargas móveis referentes ao TB-450 para o dimensionamento do reforço dos pendurais da ponte.

Tabela 5 – Resumo dos valores de força normal (kN) conforme TB-450

Pendural	$N_{g1,k}$ (kN)	$N_{g2,k}$ (kN)	$N_{g,k}$ (kN)	$N_{q1,k}$ (kN)	$N_{q2,k}$ (kN)	$N_{sd,máx}$ (kN)	$N_{sd,mín}$ (kN)
T1	61,7	15,7	77,4	-27,5	306,6	564,4	36,1
T2	14,5	1,2	15,7	-19,2	315,8	494,8	-13,1
T3	8,1	3,9	12,0	-12,3	315,9	490,1	-6,4
T4	11,5	23,3	34,8	-28,4	392,0	634,9	-7,7
T5	22,5	14,0	36,5	-18,1	192,6	338,2	9,4
T6	3,2	9,3	12,5	-17,9	188,2	299,2	-14,3
T7	16,3	3,2	19,5	-30,2	392,1	614,5	-25,8
T8	39,2	4,4	43,6	-13,8	315,0	531,3	22,9
T9	42,8	7,5	50,3	-17,7	316,4	542,6	23,8
T10	76,2	20,4	96,6	-26,7	301,6	582,8	56,5

Fonte: os autores.

Tabela 6 – Resumo dos valores de momento fletor (kN.m) conforme TB-450

Pendural	$M_{g1,k}$ (kN.m)	$M_{g2,k}$ (kN.m)	$M_{g,k}$ (kN.m)	$M_{q1,k}$ (kN.m)	$M_{q2,k}$ (kN.m)	$M_{sd,máx}$ (kN.m)	$M_{sd,mín}$ (kN.m)
T1	-44,70	-11,00	-55,70	-118,4	109,8	108,9	-252,8
T2	-4,50	0,10	-4,40	-153,4	147,6	217,0	-236,0
T3	-2,20	1,00	-1,20	-208,6	209,8	313,9	-314,9
T4	3,20	2,50	5,70	-161,5	167,6	259,1	-236,6
T5	5,50	3,20	8,70	-159,7	153,8	242,4	-230,8
T6	-0,70	-2,10	-2,80	-200,7	200,2	297,5	-304,8
T7	4,20	-0,80	3,40	-139,2	145,7	223,1	-205,7
T8	11,70	1,30	13,00	-101,1	72,5	126,3	-138,7
T9	16,20	2,70	18,90	-73,7	58,7	113,6	-91,7
T10	56,80	14,70	71,50	0,0	0,0	96,5	71,5

Fonte: os autores.

O pendural T4 suporta a maior força normal de cálculo para trem-tipo de 450 kN e igual a 634,9 kN, enquanto o pendural T3 sustenta o maior momento fletor de cálculo para trem-tipo de 450 kN e igual a 313,9 kN.m.

Os materiais de reforço recomendados neste trabalho para o reforço dos pendurais da ponte são as barras de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP) ou basalto (BFRP), que devem ser produzidas com resinas termorrígidas de epóxi ou vinil éster e conter reforço contínuo de 75% em relação à massa das barras, conforme especifica a norma NBR 17201-1 (ABNT, 2025b).

Essas barras de GFRP e BFRP devem possuir valores mínimos característicos de resistência à tração, módulo de elasticidade e deformação específica à tração iguais a 800 MPa, 45 GPa e 11‰, nesta ordem, de acordo com a Tabela 2 da norma NBR 17201-1 (ABNT, 2025b).

A resistência de cálculo das barras de GFRP e BFRP, segundo a norma NBR 17196 (ABNT, 2025a) para o estado limite último normal, é igual a 65% (0,85/1,30) da sua resistência característica.

No item 11.6 da NBR 17196 (ABNT, 2025a), devida à reduzida ductilidade do concreto com barras de FRP, os coeficientes de ponderação das ações nas combinações do estado limite último devem ser multiplicados por um coeficiente de ajustamento igual a 1,10.

No cálculo da armadura de reforço foi desconsiderada a armadura interna, pois esta encontra-se corroída em algumas regiões, além dos pendurais serem elementos estruturais muito importantes na segurança estrutural da ponte.

Adotando-se a resistência característica à tração das barras de GFRP e BFRP igual a 800 MPa e desprezando-se a resistência do concreto à tração, a armadura de reforço referente à força normal é igual a $1{,}10 \times 634{,}9 \times 10^3$ N / (0,65 × 800 MPa) = 1343,1 mm^2 = 13,4 cm^2.

Na direção do maior lado do pendural, adotando-se o braço de alavanca igual a 90% da altura útil, o valor da armadura de reforço referente ao momento fletor ao longo do lado de 70 cm do pendural é igual a $1{,}10 \times 314{,}9 \times 10^6$ N.mm / (0,65 × 800 MPa × 0,9 × 0,9 × 400 mm) = 2056,0 mm^2 = 20,6 cm^2.

Na direção do menor lado do pendural, adotando-se o braço de alavanca igual a 90% da altura útil, o valor da armadura de reforço referente ao momento fletor ao longo do lado de 40 cm do pendural é igual a $1{,}10 \times 314{,}9 \times 10^6$ N.mm / (0,65 × 800 MPa × 0,9 × 0,9 × 700 mm) = 1174,8 mm^2 = 11,7 cm^2.

Portanto, a armadura de reforço total formada por barras de GFRP ou BFRP a ser utilizada para substituir a armadura interna existente é 13,4 cm^2 + 20,6 cm^2 + 11,7 cm^2 = 45,7 cm^2, o que equivale a 10 barras de 25 mm de diâmetro.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se neste trabalho o dimensionamento do reforço dos pendurais da ponte Eurico Gaspar Dutra sobre o canal da praia da Marambaia, situada na cidade do Rio de Janeiro/RJ.

A partir da armadura interna dos pendurais obtida com o uso de normas vigentes à época da construção da ponte, verificou-se que o trem-tipo adotado e o tipo de aço CA-37 no cálculo foram adequados, pois a armadura interna teórica foi igual à no local dos pendurais da ponte.

A armadura de reforço indicada para os pendurais, como substituição da interna existente, foi composta por barras de polímero reforçado com fibras de vidro ou de basalto, cujo cálculo foi realizado sem ter sido considerada armadura interna, pois se encontra corroída e, em algumas regiões, rompida.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. EB-3: **Barras e fios de aço destinados a armadura de peças de concreto armado.** Rio de Janeiro, 1967.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-1: **Cálculo e execução de obras de concreto armado.** Rio de Janeiro, 1946a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-2: **Cálculo e execução de pontes de concreto armado.** Rio de Janeiro, 1946b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-6: **Carga móvel em pontes rodoviárias.** Rio de Janeiro, 1946c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: **Ações devido ao tráfego de veículos rodoviários e de pedestres em pontes, viadutos e passarelas**. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17196: **Projeto de estruturas de concreto armado com barras de polímero reforçado com fibras (FRP)**. Rio de Janeiro, 2025a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17201-1: **Barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado – Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2025b.

BENMOKRANE, B. CHAALLAL, O. MASMOUDI. R. **Glass fibre reinforced plastic (GFRP) rebars for concrete structures**. Construction and Building Materials, v. 9, n. 6, pp. 353-364, 1995.

CARNEIRO, L. A. V.; PERLINGEIRO, M. S. P. L.; FERRO, M. A. C. **Ultrasonic wave transmission velocity into concrete of the Eurico Gaspar Dutra bridge**. *In:* XXI International Conference on Building Pathology and Constructions Repair (CINPAR), Brasília, 2025.

CHAALLAL, O. BENMOKRANE, B. **Fiber-reinforced plastic rebars for concrete applications**. Composites: Part B, v. 27B, p. 245-252, 1996.

EL-NEMR, A. AHMED, E.A. BENMOKRANE, B. **Flexural behavior and serviceability of normal-and-high-strength concrete beams reinforced with glass fiber-reinforced polymer bars**. ACI Structural Journal, nov./dec., v. 110, n. 6, p. 1077-1087, 2013.

CAPÍTULO 50 · Parte III · Infraestrutura e projetos complementares
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/kba33362
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/zsc84451

IMPERMEABILIZAÇÃO EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS NO BRASIL: ESTADO DA ARTE, FALHAS RECORRENTES E DIRETRIZES DE PROJETO

André Fornasaro[1]*, Julie Anne Braun[2]
*Autor de contato: julie.braun@protonmail.com
[1] ILD Brasil, São Paulo, Brasil
[2] Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil

RESUMO

Em tabuleiros de pontes e viadutos, a água que atravessa o revestimento e alcança a estrutura atua como gatilho recorrente para processos patológicos associados à corrosão de armaduras e perda de desempenho. Embora a impermeabilização seja tema normatizado no Brasil, sua adoção em Obras de Arte Especiais (OAE) permanece irregular, em parte por lacunas de formação, pela crença equivocada no pavimento asfáltico como barreira estanque e por detalhes construtivos que favorecem a percolação (juntas, emendas e drenagem). Este artigo sistematiza, pela metologia de estudo de caso, o panorama histórico da implantação de sistemas de impermeabilização em pontes e viadutos no cenário nacional, e o confronta com literatura e guias internacionais, discutindo mecanismos de deterioração, requisitos de desempenho e pontos críticos de execução. São propostas diretrizes de projeto, execução e gestão da manutenção alinhadas às NBR 9575 e NBR 9574 e às práticas de inspeção do DNIT, visando aumentar a vida útil das OAE.
Palavras-chave: obras de arte especiais; impermeabilização de tabuleiros; durabilidade; corrosão; membranas.

ABSTRACT

In bridge decks, water infiltration through the wearing course and into concrete is a recurrent trigger for deterioration mechanisms associated with reinforcement corrosion, and loss of performance. Despite being addressed by Brazilian standards, waterproofing systems are still unevenly adopted in Brazilian bridges and viaducts, partly due to training gaps, the mistaken belief that asphalt layers are watertight, and constructive details that promote percolation (joints, segment interfaces and drainage). This article systematizes, through the case study methodology, the historical overview of the implementation of waterproofing systems in bridges and viaducts in the national scenario, and confronts it with international literature and guides, discussing deterioration mechanisms, performance requirements and critical points of execution. Design, execution and maintenance guidelines are proposed in line with NBR 9575, NBR 9574 and DNIT inspection practices, aiming at extending service life.
Keywords: bridge decks; waterproofing; durability; corrosion; membranes.

1. INTRODUÇÃO

As Obras de Arte Especiais (OAE), pontes, viadutos e passarelas, concentram grande parte do risco sistêmico de infraestrutura urbana e rodoviária, pois falhas localizadas podem gerar efeitos em cascata sobre segurança viária, mobilidade e custos de operação. Do ponto de vista físico, o tabuleiro é o elemento mais exposto: recebe tráfego, variações térmicas e a ação combinada de

água, contaminantes e partículas abrasivas. Quando a água ultrapassa o revestimento de rolamento e atinge o concreto, ou a base em estrutura metálica e as armaduras, o sistema passa a operar em regime de umedecimento–secagem, condição especialmente eficiente para acelerar corrosão e danos por pressão hidráulica, lixiviação e transporte de íons (TUUTTI, 1982; BROOMFIELD, 2006; HELENE, 1988; ACI, 2019; NEVILLE, 2011).

No Brasil, a impermeabilização de tabuleiros ainda é tratada, com frequência, como acessório de obra, ou substituída pela crença de que camadas asfálticas seriam estanques (MASCARO, 2011). O presente trabalho visa compilar, por meio de estudo de caso, evidências de campo de que essa premissa é frágil: a água atravessa o pavimento, encontra caminhos preferenciais em juntas e descontinuidades e se acumula em regiões com drenagem deficiente, alcançando armaduras e cabos de protensão em estruturas antigas e novas.

A engenharia de durabilidade contemporânea enfatiza que vida útil é requisito verificável: envolve prever mecanismos de degradação, limitar taxas de transporte (água, CO_2, cloretos etc.) e planejar a manutenção. Normas e guias como a ABNT NBR 6118 e o fib Model Code 2010 convergem para uma visão de desempenho ao longo do ciclo de vida, coerente com princípios de projeto e planejamento para vida útil (ABNT, 2014; fib, 2006; fib, 2011; ISO, 2011; ISO, 2012). Nesse enquadramento, a impermeabilização do tabuleiro é uma barreira funcional de alto impacto e baixo custo relativo, capaz de reduzir a entrada de água e cloretos pelo topo e, portanto, prolongar o tempo até o início da corrosão e a necessidade de intervenções corretivas (RUSSELL, 2012; KONEČNÝ; LEHNER, 2016).

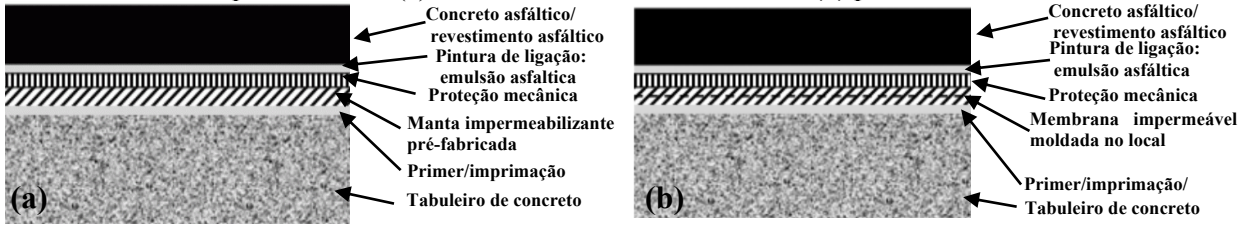
2. IMPERMEABILIZAÇÃO DE TABULEIROS: CONCEITOS, SISTEMAS E NORMALIZAÇÃO

Segundo a ABNT NBR 9575, impermeabilização é o conjunto de operações e técnicas construtivas destinado a proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, vapores e umidade, assegurando estanqueidade quando requerida (ABNT, 2010). Em tabuleiros de OAE, a estanqueidade não é um requisito de conforto, mas de durabilidade: a água que ingressa pela superfície tende a alcançar o intradorso, apoios e aparelhos de apoio, onde a inspeção é mais difícil e o dano pode evoluir silenciosamente.

2.1 Sistema impermeabilizante e interfaces típicas

Em pontes e viadutos, impermeabilização raramente é uma camada. Na prática, trata-se de um sistema estratificado, conforme ilustrado na Figura 1 a e b: substrato de concreto (ou mesa metálica com regularização), preparação superficial, primer, camada impermeável (pré-fabricada ou moldada no local) e camada de proteção mecânica quando necessária.

Figura 1- croqui esquemático representativo das possíveis camadas de um sistema de impermeabilização asfáltica com manta pré-fabricada (a) ou membrana moldada no local (b) para OAE's.



Fonte: Adaptado de RUSSELL (2012)

O desempenho depende da continuidade hidráulica e da aderência em todas as interfaces. Se uma interface descola, a água pressuriza e migra sob o sistema, anulando a função de barreira e podendo induzir falhas também no pavimento (RUSSELL, 2012; TII, 2019).

Além das interfaces do sistema, a própria permeabilidade do substrato de concreto (relação a/c, cura, conectividade de poros) e a sucção capilar governam a cinética de entrada e redistribuição de umidade (NEVILLE, 2011; MEHTA; MONTEIRO, 2014), por isso, o projeto de durabilidade não

pode dissociar a impermeabilização do concreto e drenagem como se fossem subsistemas independentes.

2.2 Tipologias e critérios de seleção

A ABNT NBR 9575 classifica sistemas quanto à aderência (aderida, parcialmente aderida, não aderida) e quanto ao comportamento (rígida ou flexível), e orienta a seleção em função de movimentações e fissuração esperada (ABNT, 2010). Em tabuleiros, a presença de microfissuras pode ser compatível com o desempenho estrutural normativo, no entanto, é incompatível com a ideia de laje estanque sem uma camada com capacidade de absorção de deformações. Diante desse cenário, a prática internacional preconiza a adoção de sistemas flexíveis e aderidos, geralmente protegidos por pavimento asfáltico, para garantir a integridade do sistema sob solicitações dinâmicas. Normas europeias específicas para mantas asfálticas aderidas em tabuleiros (por exemplo EN 14695) e guias norte-americanos descrevem requisitos de impermeabilidade, resistência mecânica e aderência compatíveis com esse contexto (CEN, 2010; RUSSELL, 2012).

A NBR 9574 complementa o arcabouço ao estabelecer exigências de execução, incluindo preparo do substrato, compatibilização com demais camadas e controle de qualidade em obra (ABNT, 2008). Em especificações de projeto, ressalta-se explicitamente que materiais asfálticos de pavimentação não são suficientemente impermeáveis para proteger tabuleiros; por isso exige-se uma camada dedicada, contínua e aderida, com critérios mínimos de aderência e integridade (TII, 2019).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho adota abordagem qualitativa e aplicada, composta por: (i) sistematização do diagnóstico e dos exemplos históricos reunidos pelos autores sobre impermeabilização em OAE no Brasil; (ii) revisão dirigida de normas e guias técnicos nacionais (ABNT) e internacionais (NCHRP/TRB e ACI); e (iii) análise comparativa de casos para extrair mecanismos recorrentes e pontos críticos de detalhamento e execução. O objetivo não é prescrever um sistema específico, mas indicar requisitos e diretrizes mínimas para que o sistema impermeabilização com a proteção mecânica e seu revestimento opere como barreira durável ao longo do tempo, reduzindo a entrada de água e contaminantes no tabuleiro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fatores que limitam a adoção em OAE brasileiras

Para o presente estudo, foram levantados os possíveis fatores que limitam a adoção de sistemas de impermeabilização em Obras de Arte Especiais no Brasil, os quais podem ser agrupados em quatro eixos. O primeiro é cultural e de formação: (a) a impermeabilização praticamente inexiste em currículos de graduação de engenharia civil e arquitetura no Brasil; e (b) geralmente tem menor prioridade em projetos de infraestrutura, o que acarreta especificações genéricas, fiscalização inadequada e execução com baixo controle tecnológico. O segundo eixo é técnico. A evolução de critérios de fissuração em normas estruturais permite a aceitação de fissuras dentro de limites pré-estabelecidos, e isso é positivo para racionalizar o projeto e o consumo de materiais, mas cria um problema quando se transfere a mesma lógica para a estanqueidade: fissuras aceitáveis do ponto de vista estrutural podem ser inaceitáveis do ponto de vista da impermeabilidade. Sem uma camada com capacidade de resistir ao surgimento de fissuras, denominado internacionalmente de CBA – Crack Bridging Ability (capacidade de criação de pontes sobre a fissuração – numa definição *lato sensu*), e sem detalhes corretos em juntas e transições, permitem o ingresso da água e o tabuleiro opera como coletor e distribuidor de umidade.

O terceiro eixo é geográfico-operacional. Em países com ciclos intensos de gelo–degelo e uso de sais descongelantes, a degradação do tabuleiro é rápida e a impermeabilização se consolidou como prática padrão (BROOMFIELD, 2006; ACI, 2019). No território brasileiro, a ausência desse

gatilho climático reduz a percepção de urgência, mas não elimina o mecanismo: água e contaminantes continuam ingressando, apenas com cinética menos dramática; em horizontes de décadas, o resultado aparece como corrosão, manchas, eflorescências e desplacamentos. O quarto eixo é gerencial: intervenções corretivas tendem a atacar sintomas no intradorso sem bloquear a fonte, que é a água penetrando no topo do tabuleiro, diminuindo o tempo entre intervenções de reparo e elevando custos de manutenção. A impermeabilização, nessa perspectiva, é uma medida de bloqueio de entrada que muda a trajetória de deterioração.

4.2 Evidências por casos e lições de detalhamento

Os casos da Figura 2 evidenciam o papel da barreira superior na durabilidade dos tabuleiros. O Viaduto Santa Ifigênia, Figura 2(a), inaugurado em 1913, constitui referência histórica de bom desempenho, associado à impermeabilização do tabuleiro e à ausência de infiltrações relevantes após décadas de operação (MASCARO, 2011). Em contraste, a Ponte Estaiada Octávio Frias de Oliveira, Figura 2(b), entregue em 2008 sem impermeabilização e sem pavimento asfáltico, ilustra como a omissão dessa camada expõe precocemente a estrutura à ação da água e de agentes agressivos. A Ponte dos Remédios reforça essa leitura. Como mostra a Figura 3, a estrutura sofreu colapso parcial em 1997, em contexto associado a falhas de protensão, drenagem deficiente e ausência de impermeabilização do tabuleiro.

Figura 2- Exemplos contrastantes: (a) Viaduto Santa Ifigênia (1913), com impermeabilização histórica; (b) Ponte Estaiada Octávio Frias de Oliveira (2008), sem impermeabilização no tabuleiro de rolamento.



Fonte: Os autores (2012).

Figura 3- Ponte dos Remédios (São Paulo): (a) prova de carga em 1997 (28 caminhões-betoneira); (b) escoramento/intervenção após novo colapso parcial em 2012; (c) vista lateral (foto também de 2012).



Fonte: Os autores.

Na Figura 4, as marcas de umidade e escorrimento revelam caminhos preferenciais de percolação por juntas, interfaces de concretagem e descontinuidades do pavimento. O processo é cumulativo: favorece saturação localizada, transporte de agentes agressivos, corrosão e deterioração progressiva, com impactos materiais e operacionais. Nesse quadro, a impermeabilização deve ser tratada como sistema de bloqueio de entrada, e não como camada acessória.

Figura 4- Ponte dos Remédios (São Paulo): (a) lateral pista bairro-centro com trecho interditado; (b) tramo central com marcas de água e escorrimentos associados a juntas e emendas de concretagem.



Fonte: Os autores (2012).

A observação central é que a impermeabilização não pode ser tratada como camada aplicada depois do pavimento; ela deve ser concebida como parte do sistema de durabilidade do tabuleiro, compatibilizada com juntas de dilatação, dispositivos de drenagem, muretas e barreiras. Sem esse encadeamento, a água encontra descontinuidades e anula o benefício do sistema. As Figuras 5 a 7 apresentam registros fotográficos para explicitar esse encadeamento.

As Figuras 5b e 5c condensam um ponto técnico relevante: juntas não são apenas aberturas a vedar, mas sistemas de drenagem concentrada. Quando o detalhamento não garante coleta e condução controlada, forma-se um curso hidráulico que injeta água diretamente no intradorso. O resultado típico é corrosão acelerada de calhas, aparelhos de apoio, armaduras de borda e regiões de ancoragem. Em estruturas do tipo laje-praça (Figura 5a), a falha é ainda mais grave, pois infiltrações persistentes deterioram a estrutura e degradam o uso urbano do espaço, forçando recuperações e reforços de alto impacto.

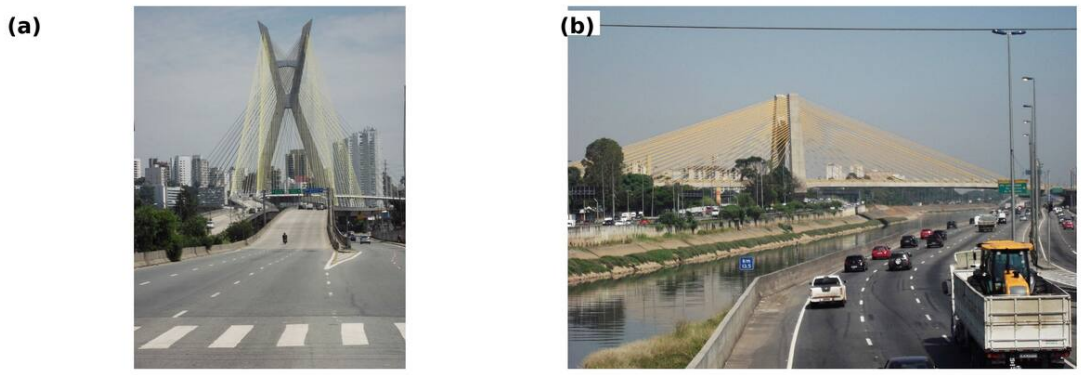
Figura 5- Descontinuidades críticas em OAE urbanas: (a) Praça Roosevelt com reforço estrutural associado a infiltrações; (b) Complexo do Parque Dom Pedro II (1971) com escorrimento sob junta de dilatação; (c) detalhe de calha metálica sob junta, evidenciando corrosão e perda de seção.



Fonte: Os autores (2012).

O fato de OAE recentes (Figura 6) e de alta visibilidade terem sido entregues sem impermeabilização do tabuleiro reforça que a barreira superior ainda é tratada como acessório. Essa assimetria entre engenharia estrutural sofisticada e engenharia de interface (impermeabilização, juntas e drenagem) é um padrão clássico de falha sistêmica: o desempenho global passa a ser governado por elementos considerados secundários no projeto e na fiscalização.

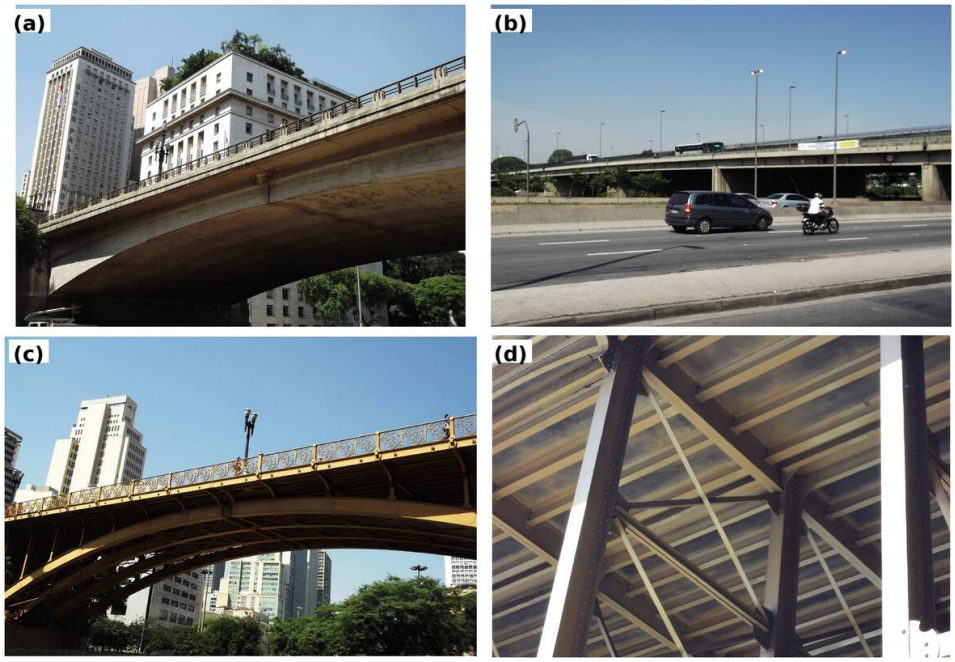
Figura 6- OAE recentes sem impermeabilização do tabuleiro de rolamento: (a) Ponte Octávio Frias de Oliveira (2008); (b) Ponte Gov. Orestes Quércia (2011).



Fonte: Os autores (2012).

Os exemplos históricos (Figura 7) desfazem a ideia de que impermeabilizar tabuleiros seria inovação recente ou custo extra. Eles mostram que, quando há decisão de projeto e proteção adequada do sistema, a barreira pode atravessar décadas de operação. O contraste entre a durabilidade observada em estruturas impermeabilizadas e as recorrências patológicas em estruturas sem barreira explica por que a impermeabilização deve migrar de prescrição genérica para requisito verificável de desempenho e de detalhamento.

Figura 7- Exemplos históricos de impermeabilização em tabuleiros: (a) Viaduto do Chá; (b) Ponte Cruzeiro do Sul – 2ª pista; (c) Viaduto Santa Ifigênia; (d) intradorso do Viaduto Santa Ifigênia.



Fonte: Os autores (2012).

A leitura conjunta dos casos (Quadro 1) evidencia que a impermeabilização tem grande potencial de falhar menos por ausência de material e mais por descontinuidades do sistema, nas quais as interfaces são maltratadas, as juntas não possuem solução drenante robusta, empoçamentos recorrentes e manutenção que atua no intradorso sem eliminar a fonte (entrada de água pelo topo).

Quadro 1- Síntese de casos documentados pelos autores e implicações para impermeabilização de tabuleiros.

OAE	Situação do tabuleiro	Evidência/efeito observado	Lições Aprendidas
Viaduto Santa Ifigênia (SP)	Impermeabilização histórica (antes de 1913)	Ausência de infiltrações relevantes reportada após décadas; intradorso sem marcas após ~99 anos (Fig. 6d).	Quando contínua e protegida, a impermeabilização pode ter longa vida. Manutenção e proteção mecânica são decisivas.
Ponte dos Remédios (SP)	Ausência de impermeabilização e falhas de drenagem (situação original 1970)	Colapso parcial (1997 com 27 anos) e infiltrações/marcas de água em inspeções (2012, 15 anos após o 1º colapso) (Figs. 2 e 3).	Bloquear entrada de água pelo topo é condição para estabilizar patologia; reabilitações devem integrar membrana + drenagem + juntas.
Viaduto do Chá (SP)	Impermeabilizado da década de 1930	Referência histórica de adoção em OAE urbana (Fig. 6a).	Impermeabilização em tabuleiros é prática antiga e compatível com intervenções urbanas (canteiros/jardins).
Ponte Cruzeiro do Sul – 2ª pista (SP)	Impermeabilizada na década de 1960 (doação Otto Baumgart)	Tabuleiro ampliado com impermeabilização (Fig. 6b).	Em ampliações e duplicações, prever impermeabilização como requisito de durabilidade, não como item opcional.
Ponte Estaiada Octávio Frias de Oliveira (SP)	Sem impermeabilização no tabuleiro de rolamento (2008)	Ausência de barreira mesmo em OAE icônica (Fig. 1b; Fig. 5a).	Exigir sistema impermeabilizante em requisitos de desempenho/contrato; pavimento não substitui membrana. A ponte já começa a dar sinais de mau desempenho, em decorrência da falta de impermeabilização e estrutura demasiadamente arrojada (ponte com apenas 18 anos).
Ponte Gov. Orestes Quércia (SP)	Sem impermeabilização no tabuleiro de rolamento (2011)	Adoção irregular em obras recentes (Fig. 5b).	Normalização existe, mas precisa ser internalizada em projeto, orçamento e fiscalização.
Complexo Parque Dom Pedro II (SP)	Juntas e drenagem como descontinuidades críticas (viaduto de 1971)	Escorrimentos sob juntas e corrosão de calhas (Fig. 4b-c).	Detalhar, inspecionar e manter juntas/calhas; evitar cursos hidráulicos concentrando fluxo no intradorso.
Praça Roosevelt (SP)	Laje-praça com infiltrações por décadas; reforço e impermeabilização previstos	Deterioração associada à infiltração e necessidade de reforço (Fig. 4a).	Em lajes de áreas públicas, impermeabilização deve ser tratada como requisito primário de durabilidade e operação.

Fonte: Os autores (2026).

4.3 Convergência com literatura internacional

A síntese NCHRP 425 (TRB) define as membranas de impermeabilização de tabuleiros como camadas delgadas e impermeáveis aplicadas sobre o substrato de concreto e obrigatoriamente protegidas por uma camada de rolamento asfáltica. No escopo normativo desta publicação, o sistema impermeabilizante é concebido para atuar em conjunto com o revestimento asfáltico, que desempenha a função de camada de sacrifício e proteção mecânica da membrana contra o tráfego. A utilização de revestimentos de concreto é tratada pelo documento não como proteção para a membrana, mas como uma estratégia alternativa e distinta de proteção do tabuleiro. Modelagens de transporte de cloretos indicam que a presença de membrana pode aumentar o tempo para início da corrosão, mesmo quando se considera dano localizado na camada impermeável (KONEČNÝ; LEHNER, 2016).

Guias que abordam a corrosão em concreto armado, como os elaborados pelo American Concrete Institute (ACI), enfatizam que a degradação é fortemente governada pela presença de umidade e por processos de transporte (difusão, convecção e sucção capilar) que levam CO_2 e cloretos à armadura. Reduzir a disponibilidade de água é, portanto, uma estratégia transversal, compatível tanto com a prevenção da corrosão quanto com a mitigação de outros mecanismos (ACI, 2016; ACI, 2019).

Desta forma, o desempenho não depende apenas do material, mas da aderência e da integridade do sistema em interfaces sucessivas (concreto/primer/membrana/pintura de ligação/asfalto). A literatura internacional ratifica a insuficiência de soluções simplificadas; o padrão irlandês DN-STR-03009, por exemplo, explicita que materiais betuminosos de pavimentação não são suficientemente impermeáveis para proteger tabuleiros. Para garantir a eficácia, a norma estabelece valor mínimo de resistência de aderência à tração (0,7 MPa) para ensaios *in situ*, além de exigir a correção de defeitos como bolhas e poros antes das camadas subsequentes (TII, 2019). Essa ênfase no rigor da execução é compatível com a prática brasileira prevista em normas de execução, mas ainda pouco internalizada em contratos de OAE

4.4 Pontos críticos: juntas, drenagem e transições

O desempenho do sistema em campo é governado por descontinuidades. Em OAE, os pontos mais críticos tendem a ser juntas de dilatação, arremates em muretas/barreiras, regiões de ralos e drenos, interfaces entre tabuleiro e passeios/canteiros e transições com lajes de aproximação. Esses pontos concentram movimentações, variações geométricas e intervenções recorrentes, elevando o risco de perfuração, descolamento e cursos hidráulicos.

Por isso, além da seleção do tipo de impermeabilização, o projeto deve especificar detalhes construtivos padronizados e exequíveis. O contrato de execução deve prever inspeção específica desses pontos antes da liberação da pavimentação. A experiência internacional mostra que minimizar a quantidade de juntas e padronizar detalhes reduz a probabilidade de falhas e facilita a manutenção, reforçando a noção de que a impermeabilização é parte de um sistema de gestão de durabilidade do tabuleiro (RUSSELL, 2012).

5. DIRETRIZES PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO

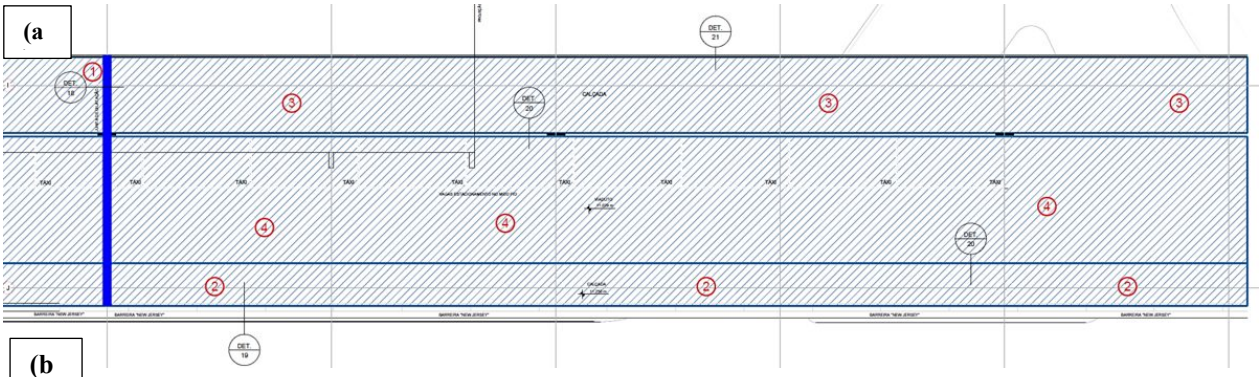
5.1 Diretrizes de projeto e detalhamento

Em OAE, a impermeabilização deve ser concebida como subsistema do tabuleiro, articulando setorização de áreas, arremates em elementos verticais, compatibilização com juntas e drenagem superficial eficiente. A seleção do sistema deve considerar a fissuração esperada, a interação com o revestimento e a resistência a cisalhamento e variações térmicas (ABNT, 2010). As Figuras 8 e 9, adotadas como estudo de caso, ilustram um projeto executivo para a impermeabilização do viaduto do Terminal Hercílio Luz, em Santa Catarina. A impermeabilização é tratada de forma integrada ao desempenho do tabuleiro, com definição de áreas, quantitativos e detalhes construtivos críticos.

Na Figura 8, a setorização associa locais, sistemas e áreas específicas, permitindo controle preciso de execução e consumo de materiais. Predomina o Sistema D, correspondente à manta dupla asfáltica 4 mm + 4 mm, aplicado às áreas (2), (3) e (4), com área total de 3.915,12 m², cerca de 98% do total quantificado. O Sistema A, destinado à impermeabilização da junta de dilatação,

aparece de forma localizada na área (1), com 80,70 m², aproximadamente 2% do total. O projeto também explicita rodapés de 20 cm nos passeios e acessos, totalizando 578,59 m de arremates verticais, pontos especialmente sensíveis à perda de continuidade e à infiltração.

Figura 8- Planta do 1° pavimento do viaduto do Terminal Hercílio Luz (A) e quadro de áreas dos sistemas de impermeabilização a serem implantados (B).



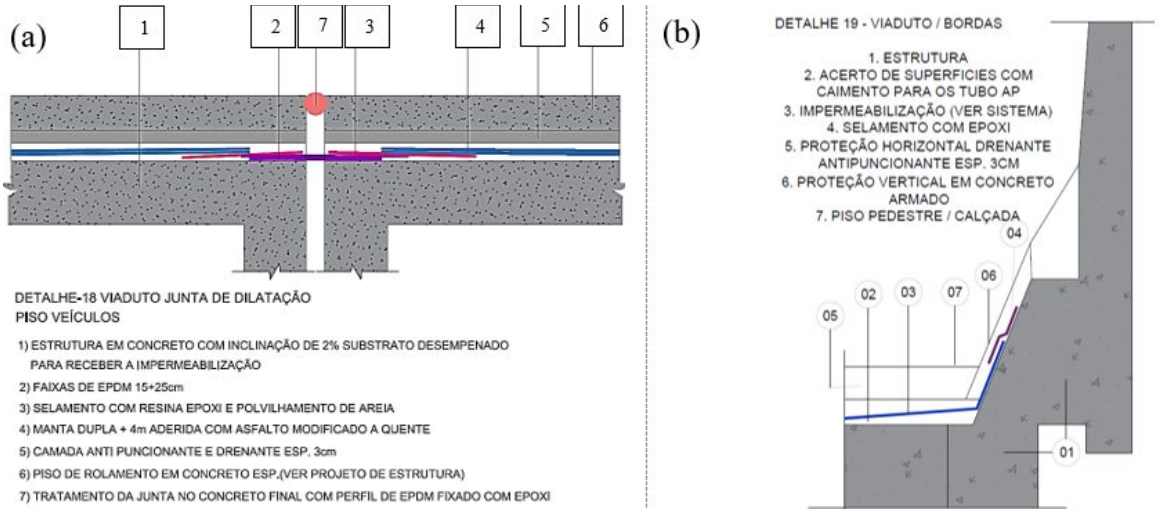
QUADRO DE ÁREAS - 1° PAVIMENTO - VIADUTO - Q15

ITEM	LOCAL	SISTEMA	DETALHES	ÁREA HORIZONTAL	PERÍMETRO	RODAPÉ	ÁREA VERTICAL	ÁREA UNITÁRIA	QUANTIDADE PAV.	ÁREA TOTAL	ÁREA TOTAL SISTEMA
1	*IMP.DA JUNTA DE DILATALÇAO	SISTEMA A	12		80,70	1,00	80,70	80,70	1,00	80,70	80,70
2	*PISO PEDESTRE	SISTEMA D	12, 13, 14, 15	600,30	258,37	0,20	51,67	651,97	1,00	651,97	3915,12
3	*PISO PEDESTRE / ACESSO			1412,00	320,22	0,20	64,04	1476,04	1,00	1476,04	
4	*PISO VEICULO			1787,10	-	-	0,00	1787,10	1,00	1787,10	

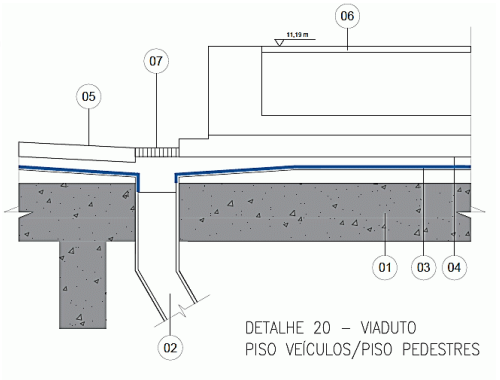
Fonte: Fonte: Arq. Jacques Monet Jr. (2018), reproduzido com autorização do autor.

Os detalhes da Figura 9 evidenciam a compatibilização entre movimentação estrutural, estanqueidade e proteção mecânica. Na junta de dilatação do piso de veículos, a solução combina substrato com caimento, faixas de EPDM, selamento epóxi, integração com a manta dupla e camada protetora drenante/antipuncionante, assegurando deformabilidade com continuidade hidráulica. Nas bordas e encontros com elementos verticais, o projeto associa impermeabilização contínua, selagens, proteção vertical e dispositivos de drenagem, reduzindo trajetórias preferenciais de ingresso de água. Nos detalhes de piso veicular/pedestre e passarela, a membrana é tratada como parte do pacote funcional do tabuleiro, articulada à geometria de escoamento, à coleta pluvial e à proteção das terminações. Observa-se que o desempenho da impermeabilização depende menos da membrana isolada e mais da compatibilidade entre arremates, proteção mecânica e drenagem.

Figura 9- Detalhamento do projeto de impermeabilização do viaduto Hercílio Luz: (A) junta de dilatação; (B) bordas do viaduto; (C) piso de veículos/pedestre; e (D) piso de pedestre/passarela.



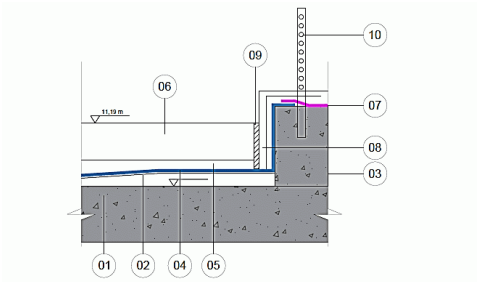
(c)



DETALHE 20 – VIADUTO
PISO VEÍCULOS/PISO PEDESTRES

1) LAJE COM INCLINAÇÃO DE 2% PARA OS TUBOS A.P.
2) TUBOS AGUAS PLUVIAIS.
3) SISTEMA D – DUPLA MANTA 4 MM.
4) CAMADA PROTETORA ANTIPUNCIONANTE DRENANTE ESP. 3 CM.
5) PISO DE ROLAMENTO EM CONCRETO ARMADO ESP. 6 MM.
6) PISO PEDESTRE
7) GRELHA

(d)



DETALHE 21 – PISO PEDESTRES / PASSARELA

1) LAJE COM INCLINAÇÃO DE 2% PARA OS TUBOS A.P.
2) ACERTO DE SUPERCIFIE
3) BORDA PERIMETRAL PARA FECHAMENTO DA IMPERMEABILIZAÇÃO
4) SISTEMA D – DUPLA MANTA 4 MM.
5) CAMADA PROTETORA ANTIPUNCIONANTE DRENANTE ESP. 3 CM.
6) PISO PEDESTRE
7) SELAMENTO EPOXI
8) PROTEÇÃO ARMADA COM TELAS NAS VERTICAIS
9) MASTIQUE
10) FECHAMENTO DE CHAPA PERFURADA

Fonte: Arq. Jacques Monet Jr. (2018), reproduzido com autorização do autor.

5.2 Diretrizes de execução e controle de qualidade

Na execução, o ponto crítico é o substrato. Superfícies com nata de cimento, contaminação por cura química ou umidade residual aumentam o risco de descolamento. As normas brasileiras de projeto e execução de sistemas de impermeabilização, NBR 9575 e 9574, e guias internacionais convergem em exigir preparo adequado (limpeza, rugosidade, secagem), além de ensaios de aderência e inspeção de continuidade antes do recobrimento asfáltico (ABNT, 2008; TII, 2019). O Quadro 2 apresenta alguns tipos de falhas recorrentes e o que o controle de qualidade deve abranger. Seja para obras nova, quanto para obras de recuperação é essencial que o controle considere: a verificação do estado superficial (laitância, porosidade, umidade), o consumo e espessura do primer/membrana, a integridade (ausência de bolhas, poros e descontinuidades), e os ensaios por amostragem de aderência do sistema de impermeabilização. Também deve ser prevista camada de proteção mecânica quando necessária, limitar tráfego de obra sobre a impermeabilização durante as obras, e evitar processos que introduzam falhas de aderência involuntários entre camadas (RUSSELL, 2012).

Quadro 2- Modos de falha recorrentes e medidas de prevenção/controle em impermeabilização de tabuleiros.

Modo de falha/causa	Efeito típico	Prevenção/controle
Substrato com presença de laitância (nata de cimento superficial), poeira ou umidade.	Descolamento e migração de água sob a membrana	Preparação mecânica; limpeza e secagem; critérios de aceitação; ensaios de aderência (arrancamento).
Detalhe deficiente em junta de dilatação	Curto hidráulico; infiltração concentrada; danos localizados	Detalhamento padronizado; compatibilização com selantes; inspeção específica antes do recapeamento.
Drenagem insuficiente ou entupida	Empoçamentos; pressão hidráulica; infiltração acelerada	Projeto de caimentos; redundância de drenos; plano de manutenção e limpeza periódica.
Perfuração por tráfego/obra ou agregados	Pontos de entrada; falhas pontuais com propagação	Camada de proteção; restrição de tráfego; reparo imediato de danos antes da aplicação do asfalto.
Incompatibilidade entre membrana e tack coat/asfalto	Descolamento de interface; bolhas; patologia do pavimento	Seleção de sistema como conjunto; ensaios prévios; controle de temperatura e sequência de aplicação.

Fonte: adaptado de ABNT (2008; 2010), Russell (2012) e TII (2019).

5.3 Diretrizes de operação, inspeção e reabilitação

Na manutenção, a impermeabilização deve entrar no ciclo de inspeções e decisões de intervenção. Procedimentos do DNIT padronizam inspeções em OAE e fornecem base para integrar sintomas de infiltração, falhas de drenagem, degradação do pavimento e condição de juntas em um diagnóstico de risco (DNIT, 2024). Uma consequência prática é priorizar, em reabilitações, o bloqueio da entrada de água pelo topo antes de reparos extensivos no intradorso. Essa sequência reduz recorrência e aumenta a efetividade de técnicas de reparo e proteção (SOUZA; RIPPER, 1998). Embora estudos de custo de ciclo de vida variem por contexto, a literatura técnica internacional aponta que barreiras superficiais tendem a ser custo-efetivas quando aplicadas de forma correta e precoce, pois atrasam o início da corrosão e ampliam janelas de manutenção planejada (RUSSELL, 2012).

6. CONCLUSÕES

A impermeabilização de tabuleiros em OAE deve ser entendida como componente de durabilidade, não como acabamento. O diagnóstico nacional aponta que a não adoção decorre menos de inexistência tecnológica e mais de falhas de conceituação, especificação, detalhamento e controle de qualidade, frequentemente agravadas pela crença de que o pavimento asfáltico seria estanque. Casos nacionais indicam que a presença (ou ausência) de barreira superior altera de modo decisivo a trajetória de deterioração e a recorrência de reparos. A convergência com literatura e guias internacionais reforça dois princípios: o sistema de impermeabilização constituído por membranas ou mantas deve ser contínuo e aderido, e seu desempenho depende criticamente do preparo do substrato e do controle de aderência e integridade antes do recobrimento asfáltico. Incorporar esses princípios a projetos, contratos e rotinas de inspeção é medida de alto retorno: eleva a vida útil, reduz riscos e racionaliza custos de manutenção em redes de OAE, com pequeno incremento de custo frente ao benefício alcançado. Como sugestão de futuras pesquisas aplicadas, recomenda-se ampliar base de dados nacionais de desempenho de sistemas em OAE, correlacionando tipologia de membranas e/ou mantas impermeabilizantes, detalhes de projeto e indicadores de aderência com recorrência de infiltração, para que especificações públicas evoluam de prescrição de materiais para requisitos mensuráveis de desempenho e controle.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **ACI 201.2R-16: Guide to Durable Concrete**. Farmington Hills, MI, 2016.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **ACI 222R-19: Guide to Protection of Metals in Concrete Against Corrosion**. Farmington Hills, MI, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574: Execução de impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575: Impermeabilização-Seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

BROOMFIELD, J. P. **Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair**. 2. ed. London: Taylor & Francis/CRC Press, 2006. DOI: https://doi.org/10.1201/9781482265491.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 010/2024-PRO: **Inspeções em pontes e viadutos rodoviários e passarelas de pedestres — Procedimento**. Brasília, 2024.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 14695:2010: Flexible sheets for waterproofing -Reinforced bitumen sheets for waterproofing of concrete bridge decks and other trafficked areas of concrete**. Brussels, 2010.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON (fib). **Model Code for Service Life Design. fib Bulletin 34**. Lausanne: fib, 2006.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON (fib). **Model Code for Concrete Structures 2010: final draft. fib Bulletin 65/66**. Lausanne: fib, 2011.

HELENE, P. R. L. **Corrosão de armaduras para concreto armado. Tecnologia de edificações**. São Paulo: Pini, 1988.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 15686-1:2011: Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework**. Geneva, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 16204:2012: Durability — Service life design of concrete structures. Geneva, 2012.

KONEČNÝ, P.; LEHNER, P. **Durability assessment of concrete bridge deck considering waterproof membrane and epoxy-coated reinforcement. Perspectives in Science**, v. 7, p. 222-227, 2016. DOI: 10.1016/j.pisc.2015.11.036.

MASCARO, Luciana Pelaes. **Em Bruxelas, engenharia e patrimônio em exposição**. *Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo*, São Carlos: IAU-USP, v. 13, n. 1, p. 107-111, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M**. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. 5. ed. Harlow: Pearson, 2011. ISBN: 978-0273755807.

RUSSELL, H. G. **Waterproofing membranes for concrete bridge decks**. NCHRP Synthesis 425. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2012.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

TRANSPORT INFRASTRUCTURE IRELAND (TII). **Waterproofing and surfacing of concrete bridge decks. Standard DN-STR-03009-02**. Dublin, 2019.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute**, 1982.

CAPÍTULO 51 · Parte III · Infraestrutura e projetos complementares
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/m5hwcp45
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/fwn1xx16

CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA ESPECIFICAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE PISO EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES

Ana Beatriz da Silva[1]; José Wyslan Lima[2]; Kaylane Souza[3]; Leticia dos Santos[4]; Lézia Maria Lima[5]; Lorena Quintela[6]; Valéria de Oliveira[7]*
*Autor de contato: valeria.oliveira@ifro.edu.br

[1] Coordenação de graduação em engenharia civil, Instituto Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil
[2] Coordenação de graduação em engenharia civil, Instituto Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil
[3] Coordenação de graduação em engenharia civil, Instituto Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil
[4] Coordenação de graduação em engenharia civil, Instituto Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil
[5] Coordenação de graduação em engenharia civil, Instituto Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil
[6] Coordenação de graduação em engenharia civil, Instituto Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil
[7]Coordenação de graduação em engenharia civil, Instituto Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil

RESUMO

Os revestimentos de piso desempenham papel central no desempenho das edificações, nos espaços de uso coletivo sujeitos a elevada circulação de usuários e distintas condições de exposição ambiental. A especificação inadequada desses materiais pode resultar em desgaste prematuro e no surgimento de manifestações patológicas. O objetivo é analisar critérios técnicos para a especificação de revestimentos de piso em edificações escolares. A pesquisa seguiu as diretrizes do método PRISMA. Os resultados indicam que a escolha adequada dos revestimentos deve considerar as condições específicas de uso de cada ambiente escolar, contribuindo para maior durabilidade dos pavimentos e melhores condições de segurança e manutenção.
Palavras-chave: revestimentos; edificações escolares; durabilidade; manutenção.

ABSTRACT

Floor coverings play a central role in the performance of buildings, particularly in shared spaces subject to high user traffic and varying environmental exposure conditions. Inadequate specification of these materials can result in premature wear and the development of pathological conditions. The objective is to analyze technical criteria for specifying floor coverings in school buildings. The research followed the PRISMA method guidelines. The results indicate that the appropriate choice of coverings should consider the specific usage conditions of each school environment, contributing to greater durability of the pavements and improved safety and maintenance conditions.
Keywords: floor coverings; school buildings; durability; maintenance.

1. INTRODUÇÃO

A durabilidade e o desempenho dos sistemas construtivos estão intimamente relacionados à correta seleção e especificação dos materiais empregados nas edificações. Dentre os inúmeros elementos que compõem o ambiente construído, os revestimentos de piso assumem papel fundamental, pois constituem a camada de acabamento diretamente exposta às ações mecânicas, físicas e ambientais decorrentes do uso cotidiano dos espaços. Essa condição é especialmente crítica em edificações escolares, onde o fluxo intenso e a diversidade de atividades impõem exigências rigorosas aos materiais de piso conforme demonstrado por Machado, Pasdiora, Santos e Santos Filho (2022) e por Ventura, S. Dias, Flores-Colen e Silva (2023).

De modo geral, os pavimentos estão sujeitos a diferentes tipos de solicitações ao longo de sua vida útil: abrasão superficial provocada pelo tráfego contínuo, impactos decorrentes da movimentação de mobiliário, presença de umidade, ação de agentes químicos provenientes de produtos de limpeza e variações térmicas. Conforme destacam Correa, Pacheco, Ehrenbring, Christ e Simonetti (2022), o desempenho dos materiais de piso depende da compatibilidade entre suas propriedades intrínsecas e o ambiente de serviço. Quando essa compatibilidade não é observada, surgem manifestações patológicas que comprometem a segurança e a durabilidade da edificação.

Em edifícios de uso coletivo como hospitais, edifícios administrativos e escolas essas solicitações são ainda mais intensas. No caso específico das escolas, os pavimentos estão submetidos a padrões de utilização marcados pela grande rotatividade de usuários, pela movimentação constante de mobiliário e por diferentes condições ambientais que variam conforme a função de cada espaço. Além disso, os revestimentos de piso em ambientes escolares frequentemente entram em contato com água, resíduos alimentares e produtos de limpeza especialmente em áreas como banheiros, refeitórios e cozinhas. Conforme discutido por Correa, Pacheco, Ehrenbring, Christ e Simonetti (2022) e por Medeiros (2020), essa exposição acelera processos de deterioração quando o material não é adequadamente especificado.

Entre as manifestações patológicas mais comuns em revestimentos de piso estão o desgaste superficial, o destacamento de placas, a fissuração e a perda de aderência entre camadas. Ventura, S. Dias, Flores-Colen e Silva (2023) observam que esses problemas não só reduzem a vida útil dos pavimentos, mas também podem gerar riscos de acidentes e elevar significativamente os custos de manutenção corretiva. Outro aspecto de grande relevância diz respeito à segurança dos usuários: superfícies com coeficiente de atrito inadequado aumentam o risco de escorregamentos e quedas sobretudo em ambientes com presença frequente de água. Por isso, a especificação dos revestimentos deve considerar, além da durabilidade, parâmetros de segurança e manutenibilidade.

Infelizmente, na prática projetual ainda é comum que a especificação de pisos para diferentes ambientes de uma escola seja feita de forma padronizada, sem levar em conta as particularidades operacionais de cada espaço. Essa abordagem genérica favorece a ocorrência de deterioração precoce e a necessidade de intervenções corretivas ao longo do tempo. Diante desse quadro, este estudo busca analisar e sistematizar critérios técnicos para a especificação de revestimentos de piso em edificações escolares, avaliando o comportamento de diferentes materiais frente às condições reais de uso desses ambientes.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os revestimentos de piso exercem múltiplas funções dentro de uma edificação: protegem as camadas estruturais inferiores, facilitam a higiene e a limpeza, contribuem para o conforto dos usuários e garantem condições seguras de circulação. O desempenho adequado desses sistemas depende da compatibilidade entre as propriedades dos materiais e as condições ambientais e mecânicas a que estarão submetidos ao longo de sua vida útil.

De acordo com Ventura, S. Dias, Flores-Colen e Silva (2023), a inadequada especificação de revestimentos de piso está entre as principais causas de manifestações patológicas tais como desgaste acelerado, fissuração, perda de aderência e degradação superficial. Essas manifestações não apenas reduzem a vida útil do sistema, mas também geram custos elevados de manutenção e comprometem a funcionalidade dos espaços. Nesse sentido, a durabilidade dos revestimentos está diretamente vinculada à compatibilização entre as propriedades dos materiais e as condições de uso do ambiente.

Contribuição semelhante é apresentada por Correa, Pacheco, Ehrenbring, Christ e Simonetti (2022) que, ao analisar duas escolas infantis em Canoas (Rio Grande do Sul), identificaram a degradação de revestimentos como um dos danos mais frequentes, evidenciando a necessidade de critérios mais rigorosos na escolha dos materiais. Os autores também apontam que a ocorrência de patologias como manchas de umidade e desplacamentos cerâmicos está muitas vezes associada à falta de aderência entre camadas e à escolha de produtos sem resistência química adequada.

A segurança no uso das edificações também depende diretamente das características superficiais dos pisos. Conforme destacado por Cardoso, Carneiro, Oliveira, Martins e Silva (2020) em estudo de caso sobre patologias construtivas em escola municipal, superfícies com coeficiente de atrito reduzido, especialmente em áreas molhadas, são um fator de risco significativo para escorregamentos e quedas, exigindo a especificação de revestimentos antiderrapantes. A própria norma ABNT NBR 9050 (2020) estabelece critérios de acessibilidade que influenciam diretamente a escolha dos pisos.

Outro aspecto relevante é a manutenibilidade dos revestimentos, ou seja, a facilidade de limpeza, conservação e, quando necessário, substituição de partes do sistema. Ventura, S. Dias, Flores-Colen e Silva (2023) propõem um modelo de classificação de desempenho que auxilia gestores escolares e projetistas a priorizar ações de manutenção preventiva, evitando que pequenas falhas evoluam para patologias de maior gravidade. Esse modelo foi validado por meio de estudo de caso e demonstrou que a escolha dos revestimentos muitas vezes é feita incorretamente com base apenas em critérios estéticos, ignorando as reais condições de uso do espaço.

As edificações escolares possuem características operacionais singulares: grande concentração de usuários, intensidade de circulação e diversidade de atividades simultâneas. Conforme apontam Machado, Pasdiora, Santos e Santos Filho (2022), esses fatores impõem exigências adicionais ao desempenho dos materiais empregados. Os autores identificaram 70 critérios de avaliação para edifícios escolares agrupados em 11 categorias, demonstrando a complexidade do tema. Para organizar essas exigências, a Quadro 01 apresenta, de forma sistemática, os diferentes ambientes de uma escola (agrupados por categorias macro, micro e particularidades), as principais solicitações sobre os revestimentos de piso, o comportamento esperado do material e as referências que fundamentam cada recomendação.

Quadro 01 – Características dos ambientes escolares e requisitos para revestimentos de piso

Categoria (macro)	Particularidades / Solicitações	Comportamento esperado do revestimento	Referências
Ensino, Administração e Apoio	Tráfego leve a moderado; movimentação de móveis; permanência prolongada; necessidade de conforto	Resistência média ao desgaste; fácil limpeza; conforto acústico; acabamento adequado	Machado *et al*. (2022); NBR 15575 (ABNT, 2021); Bastos (2024)
Alimentação e Saúde	Umidade, gordura, resíduos; uso de sanitizantes; exigência de higiene rigorosa	Alta resistência química; baixa absorção; superfície antiderrapante; fácil desinfecção	Correa *et al*. (2022); Santos et al. (2024); Medeiros (2020)
Esporte e Recreação	Impactos, abrasão e uso intenso; exposição externa	Alta resistência mecânica; absorção de impacto; resistência a intempéries; atrito controlado	Rosa (2025); Corrêa *et al*. (2025); NBR 15575 (ABNT, 2021)
Serviços e Circulação	Tráfego intenso; umidade; agentes químicos; cargas elevadas	Alta resistência à abrasão; baixa absorção; antiderrapante; resistência a cargas	NBR 13818 (ABNT, 1997); Ventura *et al*. (2023); Cardoso et al. (2020)
Áreas Externas	Exposição ao sol, chuva e variações térmicas	Resistência a intempéries; estabilidade térmica; superfície antiderrapante	NBR 15575 (ABNT, 2021); Machado *et al*. (2022)

Fonte: autores (2026)

O Quadro 01 evidencia que cada tipo de ambiente escolar impõe uma combinação única de solicitações mecânicas, químicas e ambientais. Por exemplo, ambientes de alimentação e banheiros requerem revestimentos com baixa absorção de água e alta resistência química, enquanto corredores e áreas externas priorizam resistência à abrasão e durabilidade. A diversidade de exigências torna inadequada a padronização de um único material para toda a escola, reforçando a necessidade de uma especificação técnica orientada por critérios claros e referenciados, como serão apresentados nos resultados e discussão deste estudo.

3. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido com base em uma abordagem qualitativa, combinando revisão bibliográfica sistemática e análise comparativa de revestimentos de piso aplicados em edificações escolares. O levantamento bibliográfico foi conduzido seguindo as diretrizes do método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) conforme proposto por Page, McKenzie, Bossuyt, Boutron, Hoffmann, Mulrow, Shamseer, Tetzlaff e Moher (2021), com o objetivo de identificar publicações relevantes sobre o tema. Foram pesquisadas as bases Google Scholar, ResearchGate, Science Direct e o portal de periódicos da CAPES, além de repositórios institucionais de universidades brasileiras. A busca utilizou as seguintes palavras/chave: em português “revestimento de piso”, “escola”, “desempenho”, “durabilidade”, “manutenção”, “patologia”; em inglês “floor covering”, “school building”, “performance”, “durability”, “maintenance”, “pathology”.

Os critérios de inclusão foram: artigos publicados em periódicos indexados no período de 2020 a 2026, que abordassem diretamente a especificação, o comportamento de revestimentos de piso em edificações de uso coletivo especialmente escolares, e que apresentassem metodologia clara e dados conclusivos. Foram excluídos os estudos que não tratavam do tema central, aqueles com dados incompletos ou de fontes exclusivamente comerciais, bem como teses de conclusão de curso sem revisão por pares. Após a etapa de filtragem, foram selecionados 10 estudos para análise aprofundada. O Quadro 02 apresenta a relação final dos estudos utilizados, os quais foram aplicados de forma coesa nos resultados da presente pesquisa.

Quadro 02 – Estudos selecionados para a análise: abordagem temática e critérios utilizados

Autor(es) completo(s) (ano)	O que aborda sobre o tema	Critério utilizado para análise
Cardoso, Carneiro, Oliveira, Martins e Silva (2020)	Análise de patologias construtivas em escola municipal, incluindo pisos cerâmicos descolados e desgaste superficial	Identificação visual de manifestações patológicas; associação com falta de manutenção
Medeiros (2020)	Inspeção predial em escola estadual, priorização de anomalias em pisos e revestimentos	Metodologia de priorização com base em gravidade, urgência e tendência
Machado, Pasdiora, Santos e Santos Filho (2022)	Identificação de 70 critérios para avaliação de edificações escolares, incluindo desempenho de pisos	Método multicritério (análise de conteúdo e validação por especialistas)
Correa, Pacheco, Ehrenbring, Christ e Simonetti (2022)	Comparação de danos patológicos entre sistema inovador e convencional em duas escolas, com foco em revestimentos cerâmicos	Mapeamento de danos (descolamento, fissuração, desgaste); análise de aderência
Ventura, S. Dias, Flores-Colen e Silva (2023)	Proposição de modelo de manutenção proativa para acabamentos de piso, aplicado a escolas e edifícios públicos	Classificação de desempenho; matriz de risco; indicadores de manutenibilidade
Rosa (2025)	Avaliação de método de resistência ao impacto em sistemas de piso com revestimento cerâmico	Ensaio de impacto (pêndulo); comparação entre tipos de cerâmica e porcelanato
Corrêa, Saturnino e Moreira (2025)	Análise de desempenho de revestimentos em Unidade Básica de Saúde, com aplicabilidade a escolas	Critérios de durabilidade, segurança (atrito) e facilidade de limpeza
Santos, Oliveira, Santana *et al.* (2024)	Manifestações patológicas em revestimentos de escolas municipais, com ênfase em cerâmica e granilite	Levantamento *in loco*; classificação por tipo de patologia e causa provável

Fonte: autores (2026)

Com base na revisão, foram estabelecidos os critérios técnicos para a análise comparativa dos revestimentos. Esses critérios (resistência ao desgaste, absorção de água, segurança, facilidade de manutenção e durabilidade esperada) foram discutidos à luz das condições de uso típicas de salas de aula, corredores, banheiros, refeitórios e áreas externas, conforme os parâmetros extraídos dos estudos do Quadro 02. Em seguida, realizou-se a análise comparativa dos principais tipos de revestimento (cerâmico, porcelanato, granilite e piso vinílico), relacionando suas propriedades técnicas a cada ambiente escolar. Por fim, foi elaborada uma matriz multicritério para auxiliar a decisão projetual, com base nos parâmetros de maior relevância para o contexto educacional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise comparativa dos revestimentos de piso aplicáveis a edificações escolares evidenciou diferenças significativas no desempenho dos materiais quando submetidos às condições operacionais típicas desses ambientes. As diferenças estão associadas principalmente às propriedades físicas e mecânicas dos revestimentos, bem como às características específicas de uso de cada espaço.

4.1 Particularidades dos ambientes

Ambientes como banheiros e refeitórios estão frequentemente expostos à presença de água e produtos de limpeza, enquanto áreas externas e quadras esportivas sofrem ação direta de intempéries e variações térmicas. Essa diversidade impõe exigências distintas, tornando inadequado o emprego de um único tipo de material para toda a escola.

Corredores e áreas de circulação representam os locais de maior intensidade de tráfego. Durante os intervalos, concentram grande número de usuários em curtos períodos, resultando em elevada abrasão superficial. Já as salas de aula apresentam níveis moderados de solicitação, embora a movimentação constante de mobiliário possa gerar impactos localizados. O Quadro 03, a seguir, resume essas condições.

Quadro 03 – Estudos selecionados para a análise: abordagem temática e critérios utilizados

Ambiente	Intensidade de tráfego	Exposição à umidade	Frequência de limpeza	Nível de solicitação
Salas de aula	Moderado	Baixa	Alta	Médio
Corredores	Muito alto	Baixa	Alta	Alto
Banheiros	Alto	Muito alta	Muito alta	Alto
Refeitórios	Alto	Média	Muito alta	Alto
Áreas externas	Alto	Alta	Média	Alto

Fonte: elaborado a partir de Correa, Pacheco, Ehrenbring, Christ e Simonetti (2022).

Para avaliar a resistência dos revestimentos frente a essas solicitações, a NBR 15575 (ABNT, 2021) estabelece parâmetros de desempenho que podem ser utilizados como referência. A norma define que os sistemas de piso devem apresentar vida útil mínima de 10 anos para edificações habitacionais, parâmetro aplicável também aos ambientes escolares de uso comum. Os resultados de Correa, Pacheco, Ehrenbring, Christ e Simonetti (2022) indicam que em corredores e áreas de acesso os revestimentos são os que mais sofrem com desgaste superficial, o que reforça a necessidade de adotar materiais com classe de abrasão compatível. Na prática brasileira, recomenda-se utilizar revestimentos cerâmicos com classificação PEI 4 ou 5 (resistência ao desgaste) nessas áreas, conforme os critérios da NBR 13818 para pisos sujeitos a tráfego intenso.

2.2 Materiais

Foram analisados quatro tipos de revestimento: cerâmico, porcelanato, granilite e piso vinílico. O revestimento cerâmico apresenta boa resistência à umidade e relativa facilidade de limpeza, mas o desgaste superficial pode ser significativo em situações de tráfego muito intenso, especialmente se a placa apresentar baixa resistência à abrasão. Conforme apontam Correa, Pacheco, Ehrenbring, Christ e Simonetti (2022), os revestimentos cerâmicos são os que mais sofrem com problemas de

aderência em áreas molhadas, como banheiros. O porcelanato técnico, por sua vez, demonstra desempenho superior quanto à resistência mecânica e à absorção de água. Contudo, o acabamento polido reduz o coeficiente de atrito em superfícies molhadas, exigindo cuidado em banheiros e refeitórios. Ventura, S. Dias, Flores-Colen e Silva (2023) destacam que a escolha equivocada do acabamento superficial é uma das principais causas de riscos de escorregamento.

O granilite, revestimento cimentício monolítico, apresenta elevada resistência mecânica e grande durabilidade. A ausência de juntas minimiza falhas de aderência, sendo tradicionalmente usado em corredores e circulações. Entretanto, como observado no estudo de caso de Santos, Oliveira, Santana *et al*. (2024), pisos de granilite podem apresentar fissuração e desgaste quando submetidos a cargas excessivas ou manutenção inadequada. Os pisos vinílicos apresentam vantagens em conforto e facilidade de manutenção. Sua resistência ao desgaste, porém, é inferior quando comparada aos materiais cimentícios ou porcelanatos técnicos, limitando sua aplicação em áreas de tráfego muito intenso. O Quadro 04 sintetiza o desempenho comparativo.

Quadro 04 – Comparação técnica entre revestimentos de piso

Revestimento	Resistência ao desgaste (PEI)	Absorção de água	Segurança	Facilidade de manutenção	Durabilidade
Cerâmico	Média (PEI 3 a 4)	Baixa	Boa	Média	Média
Porcelanato	Alta (PEI 4 a 5)	Muito baixa	Boa (exceto polido)	Média	Alta
Granilite	Muito alta	Baixa	Boa	Alta	Muito alta
Vinílico	Média (conforme fabricante)	Média	Boa	Alta	Média

Fonte: Elaborado a partir de Ventura, S. Dias, Flores-Colen e Silva (2023) e Medeiros (2020)

No Brasil, a resistência ao desgaste dos revestimentos cerâmicos é classificada segundo a NBR 13818 pelo índice PEI (Porcelain Enamel Institute), que varia de 1 (tráfego muito leve) a 5 (tráfego comercial e institucional intenso). Para ambientes de tráfego intenso em escolas, recomenda-se índice PEI 4 ou 5, garantindo maior durabilidade.

4.3 Condições de manutenção

Ambientes como refeitórios e banheiros são submetidos a processos frequentes de limpeza, expondo os revestimentos a agentes químicos presentes em detergentes e desinfetantes. Materiais com baixa resistência química podem sofrer alterações superficiais ao longo do tempo, comprometendo a durabilidade. O Quadro 05 (abaixo) apresenta a avaliação da manutenibilidade.

Quadro 05 – Facilidade de manutenção dos revestimentos

Revestimento	**Facilidade de limpeza**	**Resistência química**	**Frequência de manutenção**
Cerâmico	Boa	Boa	Média
Porcelanato	Muito boa	Muito boa	Baixa
Granilite	Boa	Boa	Baixa
Vinílico	Muito boa	Moderada	Média

Fonte: adaptado de Rosa (2025), de Bastos (2024) e de Santos, Oliveira, Santana *et al*. (2024) com base nos critérios da NBR 13818.

Medeiros (2020) observa que a ausência de manutenções periódicas na edificação facilita o surgimento de novas manifestações e o agravamento das já existentes. Portanto, a escolha de um revestimento de fácil manutenção é estratégica para reduzir custos ao longo do ciclo de vida do edifício. Os resultados mostram que o granilite e o porcelanato técnico apresentam as melhores soluções para áreas de tráfego intenso e alta exigência de higienização, enquanto o cerâmico antiderrapante é indicado para banheiros e o vinílico pode ser adequado em salas de aula com menor fluxo. Com base nessas análises, o Quadro 06 recomenda, de forma prática, o tipo de revestimento mais adequado para cada ambiente escolar, de acordo com a pesquisa.

Quadro 06 – Recomendação de revestimentos por ambiente escolar

Ambiente	Revestimento recomendado	Justificativa
Salas de aula	Cerâmico (PEI 3) ou vinílico	Tráfego moderado e facilidade de limpeza
Corredores	Granilite ou porcelanato técnico (PEI 4 ou 5)	Alta resistência ao desgaste
Banheiros	Cerâmico antiderrapante (CA ≥ 0,4; PEI 3 ou 4)	Baixa absorção e segurança
Refeitórios	Porcelanato (CA ≥ 0,5; PEI 4)	Resistência química e fácil higienização
Áreas externas	Granilite ou piso cimentício	Elevada resistência mecânica

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Rosa (2025) e de Santos, Oliveira, Santana *et al*. (2024), com base nos requisitos da NBR 13818 e NBR 15575.

Os resultados encontrados dialogam e, em alguns aspectos, ampliam as discussões propostas pelos trabalhos mais recentes na área, sempre ancorados no contexto normativo brasileiro. Em primeiro lugar, a constatação de que cada ambiente escolar demanda um conjunto específico de propriedades do revestimento confirma as observações de Ventura, S. Dias, Flores-Colen e Silva (2023). Esses autores, ao desenvolverem um modelo de classificação de desempenho para pisos, já apontavam que a manutenção proativa e a adequação da especificação são fatores centrais para a durabilidade dos sistemas.

Neste estudo, a matriz multicritério construída (Quadro 07) vai um passo adiante ao quantificar o peso relativo de cada critério, oferecendo uma ferramenta prática para projetistas e gestores escolares no Brasil. Vale destacar que os parâmetros adotados (absorção de água, resistência ao desgaste, coeficiente de atrito) estão diretamente alinhados aos requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2021) para sistemas de piso e às especificações da NBR 13818 para revestimentos cerâmicos.

Quadro 07 – Matriz multicritério para avaliação de revestimentos

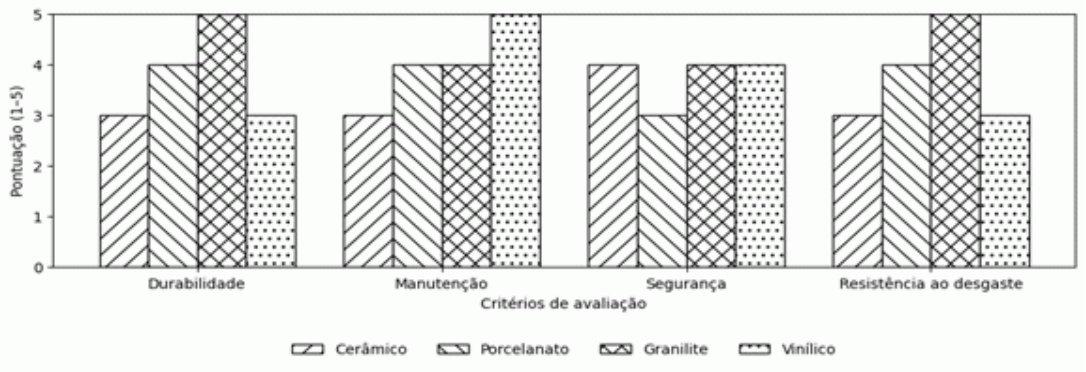
Critério	Peso	Cerâmico	Porcelanato	Granilite	Vinílico
Durabilidade	5	3	4	5	3
Manutenção	4	3	4	4	5
Segurança	5	4	3	4	4
Resistência ao desgaste	5	3	4	5	3

Fonte: elaborado pelos autores com base em Ventura, S. Dias, Flores-Colen e Silva (2023) e nos requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2021)

A matriz evidencia que o granilite lidera nos critérios de durabilidade e resistência ao desgaste, enquanto o porcelanato apresenta bom equilíbrio e o vinílico destaca-se na manutenção. Um ponto de convergência com Santos, Oliveira, Santana *et al*. (2024) é a ênfase na segurança em ambientes molhados; ambos os estudos recomendam superfícies antiderrapantes em banheiros e refeitórios, com coeficiente de atrito mínimo de 0,4 (ABNT NBR 13818). A Figura 01 apresenta uma

representação gráfica comparativa do desempenho dos revestimentos com base nos quatro critérios da matriz multicritério. A análise visual reforça o equilíbrio do granilite em resistência mecânica e durabilidade, enquanto o vinílico se sobressai em manutenção.

Figura 01 – Comparação de desempenho entre revestimentos de piso considerando os critérios de durabilidade, manutenção, segurança e resistência ao desgaste



Fonte: autores (2026)

Algumas divergências também merecem destaque. Enquanto alguns fabricantes e projetistas ainda indicam o porcelanato polido como solução universal para áreas internas, as análises mais recentes de Rosa (2025) e de Santos, Oliveira, Santana *et al*. (2024) alertam para o risco de queda em superfícies molhadas com esse acabamento. Assim, este estudo recomenda o uso de porcelanato apenas em ambientes secos ou com acabamento antiderrapante específico, conforme já preconizado pela NBR 15575 (ABNT, 2021) que estabelece requisitos mínimos de desempenho para pisos em áreas comuns, e pela NBR 13818 que exige coeficiente de atrito igual ou superior a 0,4 para pisos declarados como antiderrapantes.

Outro ponto de atualização diz respeito ao piso vinílico. A literatura dos anos 2010 frequentemente o associava à baixa durabilidade, mas os dados de Ventura, S. Dias, Flores-Colen e Silva (2023) e as orientações do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE, 2021) indicam que, com os avanços tecnológicos (camadas de desgaste mais espessas, resistência química melhorada), os pisos vinílicos de alta qualidade podem ser uma alternativa viável para áreas de tráfego moderado no Brasil, como salas de leitura ou bibliotecas. No entanto, Medeiros (2020) adverte que materiais de baixa resistência química, como alguns vinílicos de baixa qualidade, estão sujeitos a manchas e degradação acelerada quando expostos a agentes de limpeza agressivos.

Correa, Pacheco, Ehrenbring, Christ e Simonetti (2022) e Cardoso, Carneiro, Oliveira, Martins e Silva (2020) reforçam que a maioria das patologias em revestimentos cerâmicos está relacionada à falta de aderência e à ausência de juntas de movimentação. Este estudo corrobora essa conclusão e acrescenta que, em ambientes escolares, a movimentação térmica e as vibrações decorrentes do uso intenso tornam esses aspectos ainda mais críticos. A NBR 15575 (ABNT, 2021) estabelece que os sistemas de piso devem ser projetados e executados de forma a garantir estabilidade e aderência, com juntas de movimentação adequadas. Portanto, a especificação do tipo de revestimento deve vir acompanhada de recomendações detalhadas sobre o sistema de assentamento, a preparação da base e as juntas de dilatação, conforme as boas práticas recomendadas pelo FNDE (2021) para edificações escolares públicas.

A análise das manifestações patológicas (Quadro 08) como descolamento, fissuração, desgaste e escorregamento foi validada por meio de estudos de caso recentes realizados no Brasil, como os de

Cardoso, Carneiro, Oliveira, Martins e Silva (2020) e de Medeiros (2020). Santana, Sousa, Souza e Rodrigues (2024), concluíram que as escolas municipais analisadas apresentavam ausência de manutenções preventivas, sendo o descolamento com pulverulência a manifestação patológica mais recorrente nos revestimentos de piso. Esses autores também sugerem a criação de planos periódicos de inspeção e limpeza, prática que pode aumentar a vida útil dos pavimentos em até 30%.

Quadro 08 – Patologias comuns em revestimentos de piso

Patologia	Causa provável	Consequência
Descolamento de placas	Falha de aderência ou movimentação estrutural	Perda de integridade do revestimento
Fissuração	Movimentações estruturais ou retração	Comprometimento estético e funcional
Desgaste superficial	Tráfego intenso (PEI inadequado)	Redução da durabilidade
Escorregamento	Superfície inadequada (CA < 0,4)	Risco de acidentes

Fonte: adaptado de Correa, Pacheco, Ehrenbring, Christ e Simonetti (2022), de Cardoso, Carneiro, Oliveira, Martins e Silva (2020) e de Santos, Oliveira, Santana *et al*. (2024).

Em síntese, a discussão confirma a importância de uma especificação personalizada por ambiente e incorpora as recomendações das publicações mais atuais e das normas técnicas brasileiras, atualizando conceitos que antes estavam ancorados em referências estrangeiras para um contexto nacional aplicável.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam que não existe um revestimento universal capaz de atender a todas as condições de uso de uma unidade escolar. Cada ambiente como corredor, sala de aula, banheiro, refeitório ou área externa impõe uma combinação específica de exigências de resistência ao desgaste, absorção de água, segurança e facilidade de limpeza. Dessa forma, a especificação deve ser feita de maneira segmentada, aliando o conhecimento técnico dos materiais às características operacionais de cada espaço.

A comparação entre os revestimentos analisados mostra que o granilite continua sendo uma excelente opção para áreas de tráfego muito intenso, devido à sua alta resistência mecânica e durabilidade. O porcelanato técnico, quando utilizado com acabamento antiderrapante, mostra-se adequado para ambientes internos que demandam baixa absorção e fácil limpeza. Pisos cerâmicos e vinílicos podem ser empregados em áreas de menor solicitação, desde que suas propriedades estejam compatíveis com as condições previstas.

A segurança dos usuários deve estar entre os critérios prioritários. A escolha de superfícies com coeficiente de atrito adequado, especialmente em ambientes sujeitos à presença de água, reduz significativamente o risco de escorregamentos e quedas. Conforme estabelece a NBR 9050 (ABNT, 2020), pisos devem proporcionar condições seguras de circulação para todos os usuários, incluindo pessoas com deficiência e mobilidade reduzida. Além disso, a manutenção periódica e a correta execução dos sistemas de assentamento são fundamentais para preservar o desempenho dos pavimentos ao longo do tempo. A utilização de ferramentas de análise multicritério, como a apresentada no Quadro 7, pode auxiliar no processo de tomada de decisão, permitindo uma

comparação objetiva entre diferentes materiais. Dessa forma, a adoção de critérios técnicos atualizados e consistentes com as normas brasileiras tende a contribuir para a melhoria da qualidade das edificações escolares, promovendo ambientes mais seguros, duráveis e adequados às atividades educacionais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho** (partes 1 a 6). Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BASTOS, G. E. R. Um estudo de caso em edificação comercial: critérios técnicos para revestimentos. **OJS Foco Publicações**, 2024. Disponível em: https://ojs.focopublicacoes.com.br. Acesso em: 10 mai. 2026.

CARDOSO, C. C.; CARNEIRO, I. S.; OLIVEIRA, T. N.; MARTINS, M. I. R.; SILVA, M. A. Análises das patologias construtivas: Estudo de caso em uma escola na cidade de Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, e42974421, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.4421.

CORREA, T. S.; PACHECO, F.; EHRENBRING, H. Z.; CHRIST, R.; SIMONETTI, C. Análise dos danos patológicos em duas escolas municipais em Canoas/RS: estudo de caso comparativo entre sistema inovador e convencional. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, e33411629093, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.29093.

CORRÊA, R. L.; SATURNINO, V. L.; MOREIRA, K. C. B. Análise de desempenho em sistema de revestimentos em Unidade Básica de Saúde. **Revista Novos Desafios**, v. 5, n. 1, p. 13-28, 2025. Disponível em: https://novosdesafios.inf.br. Acesso em: 15 mai. 2026.

FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (FNDE). **Manual de orientações técnicas para elaboração de projetos de edificações escolares**. Brasília: FNDE, 2021.

MACHADO, E. L.; PASDIORA, L.; SANTOS, A. P. L.; SANTOS FILHO, M. L. Identificação de critérios para avaliação de edificações escolares. **Revista ALCONPAT**, v. 12, n. 2, p. 143-161, 2022. DOI: 10.21041/ra.v12i2.532.

MEDEIROS, E. F. de. **Aplicação de metodologia de priorização na inspeção predial de uma escola estadual no município de Mossoró/RN**. 2020. 12 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/6597.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J. M.; MOHER, D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, n. 71, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71.

ROSA, T. **Análise de método de avaliação de resistência ao impacto em sistemas de piso com revestimento cerâmico**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2025. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br. Acesso em: 10 mai. 2026.

SANTANA, R. O.; SOUSA, P. M. S.; SOUZA, R. S.; RODRIGUES, B. N. Manifestações patológicas em revestimentos: estudo de caso em escolas municipais da cidade de Quixeramobim-CE. In: **ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES (CBPAT)**, Fortaleza, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.12785986. Disponível em: https://anais.cbpat.org.br. Acesso em: 12 mai. 2026.

SANTOS, R. O.; OLIVEIRA, P. M. S.; SANTANA, R. O.; SOUSA, R. S.; RODRIGUES, B. N. Manifestações patológicas em revestimentos: estudo de caso em escolas municipais da cidade de Quixeramobim. In: **ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES**, 2024. Disponível em: https://cbpat.org. Acesso em: 12 mai. 2026.

VENTURA, M.; S. DIAS, I.; FLORES-COLEN, I.; SILVA, A. Pathology and proactive maintenance of floor finishes. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 41, n. 3, p. 588-605, 2023. DOI: 10.1108/IJBPA-11-2021-0158.

CAPÍTULO 52 · Parte III · Infraestrutura e projetos complementares
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/j78wv271
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/6f183k23

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA INCORPORAÇÃO DE ZnO E TiO_2 NA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE EM ARGAMASSA DE CIMENTO BRANCO

Ramon Mendonça Teles[1]*, Eduarda Novello[1]; Bruna Gabriela Schuster[1], Kim Lisbôa Daudt Maus[1], Leticia Lange[1], Alexandre Silva de Vargas [2] e Daiana Cristina Metz Arnold[1]
*Autor de contato: 0151420@feevale.br

[1] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil
[2] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

RESUMO

A argamassa autolimpante tem sido desenvolvida com a incorporação de fotocatalisadores capazes de promover, sob incidência de luz, a autodegradação de sujidades e microrganismos. O uso de Dióxido de Titânio (TiO_2) e Óxido de Zinco (ZnO) em argamassas é amplamente investigado devido ao baixo nível de toxicidade e aos resultados promissores relacionados à autolimpeza por fotocatálise, além do potencial de modificar a percolação de água na matriz, contribuindo para a redução de manifestações patológicas associadas à umidade. Assim, o objetivo deste trabalho foi incorporar TiO_2 e ZnO em uma argamassa de revestimento branca e avaliar a absorção de água por capilaridade. Foram estudados traços de argamassa industrializada contendo adições de TiO_2 P25 e ZnO nos teores de 0, 1, 2 e 3% em relação à massa da argamassa. Os resultados indicaram aumento da absorção capilar nas formulações com TiO_2, com incremento máximo de aproximadamente 209% para o teor de 3%, enquanto as argamassas com ZnO apresentaram redução da absorção, alcançando diminuição de cerca de 89% no teor de 3%. Conclui-se que o ZnO mostrou-se mais favorável para reduzir a absorção de água, podendo contribuir para a mitigação de manifestações patológicas, enquanto o TiO_2 demanda maior controle de dispersão ou aplicação superficial para conciliar desempenho autolimpante e durabilidade.
Palavras-chave: argamassa autolimpante; fotocatálise, revestimento, poros capilares; manifestações patológicas.

ABSTRACT

Self-cleaning mortar has been developed with the incorporation of photocatalysts capable of promoting, under light exposure, the self-degradation of dirt and microorganisms. The use of Titanium Dioxide (TiO_2) and Zinc Oxide (ZnO) in mortars is widely investigated due to their low toxicity and promising results related to self-cleaning by photocatalysis, in addition to the potential to modify water percolation in the matrix, contributing to the reduction of pathological manifestations associated with humidity. Thus, the objective of this work was to incorporate TiO_2

and ZnO into a white coating mortar and evaluate water absorption by capillarity. Mixtures of industrialized mortar containing additions of TiO_2 P25 and ZnO at levels of 0, 1, 2, and 3% relative to the mass of the mortar were studied. The results indicated increased capillary absorption in formulations with TiO_2, with a maximum increase of approximately 209% at a 3% content, while mortars with ZnO showed reduced absorption, reaching a decrease of about 89% at a 3% content. It is concluded that ZnO proved more favorable for reducing water absorption, potentially contributing to the mitigation of pathological manifestations, while TiO_2 requires greater control of dispersion or surface application to reconcile self-cleaning performance and durability.
Keywords: self-cleaning mortar; photocatalysis; coating, capillary pores; pathological manifestations.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por materiais de construção mais duráveis, funcionais e sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de soluções inovadoras no campo das argamassas de revestimento. Nesse contexto, destacam-se as argamassas autolimpantes, que incorporam materiais fotocatalíticos capazes de promover a degradação de compostos orgânicos e a redução de sujidades superficiais quando expostos à radiação luminosa. Essa tecnologia surge como alternativa promissora para minimizar a degradação estética e funcional das fachadas, especialmente em ambientes urbanos sujeitos à poluição atmosférica (BEHLING *et al*., 2025; JIANG *et al.,* 2025).
Dentre os materiais fotocatalíticos mais utilizados, o dióxido de titânio (TiO_2) e o óxido de zinco (ZnO) têm recebido destaque devido à sua elevada atividade fotocatalítica, estabilidade química e baixo nível de toxicidade. Quando incorporados em matrizes cimentícias, esses compostos atuam na geração de espécies reativas capazes de oxidar poluentes e compostos orgânicos, contribuindo para o efeito autolimpante das superfícies (KHAN et al., 2020; NAM et al., 2019). Além disso, tais materiais podem influenciar propriedades físicas da argamassa, como porosidade, microestrutura e interação com a água.
A modificação da microestrutura da argamassa decorrente da incorporação de partículas finas, como o TiO_2 e o ZnO, pode impactar diretamente o comportamento de transporte de fluidos no material. Em particular, a absorção de água por capilaridade é um parâmetro fundamental para avaliar a durabilidade de revestimentos, uma vez que está diretamente relacionada à penetração de umidade, ao desenvolvimento de manifestações patológicas e à degradação ao longo do tempo. Alterações na distribuição e conectividade dos poros podem resultar tanto na redução quanto no aumento da absorção capilar, dependendo da natureza e do teor das adições incorporadas (PALANISAMY *et al*., 2023; PEREIRA LESSA *et al*., 2025).
Estudo de Pozo-Antonio; Dionísio (2017) avaliou a autolimpeza de crostas negras em revestimentos argamassados formadas pela deposição de fuligem real de motores a diesel, uma manifestação comum em ambientes urbanos que compromete a estética e contribui para a degradação das fachadas. Os resultados indicaram que a incorporação de TiO_2 promoveu apenas uma degradação parcial da matéria orgânica, mais evidente em maiores teores e em argamassas à base de cal, não sendo suficiente para remover completamente as crostas após 30 dias de exposição, evidenciando limitações da fotocatálise nesta aplicação.
Nesse sentido, a utilização de argamassa branca como matriz base potencializa os efeitos fotocatalíticos dos materiais incorporados, devido à sua maior refletância e menor interferência de pigmentos, favorecendo a ativação dos semicondutores. No entanto, a introdução de TiO_2 e ZnO pode também alterar propriedades relacionadas à absorção de água, seja pela atuação como material de preenchimento de vazios (efeito filler), seja pela possibilidade de aglomeração de partículas, o que pode gerar heterogeneidades na matriz (DOĞAN *et al*., 2021; ZHONG *et al*., 2022).

Dessa forma, torna-se essencial avaliar não apenas o desempenho autolimpante dessas argamassas, mas também os impactos nas propriedades físicas, em especial na absorção de água por capilaridade (XIMENES *et al*., 2023). A compreensão desse comportamento é fundamental para garantir que os benefícios associados à fotocatálise não comprometam a durabilidade e o desempenho do revestimento ao longo de sua vida útil.
Assim, o presente estudo tem como objetivo investigar a influência da incorporação de TiO_2 e ZnO em diferentes teores na absorção de água por capilaridade de argamassas de revestimento branco, contribuindo para o desenvolvimento de materiais cimentícios multifuncionais que aliem desempenho autolimpante e durabilidade.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

Para a condução do programa experimental, foram empregados como materiais uma argamassa de revestimento industrializada à base de cimento branco, com propriedades impermeáveis e indicada para uso em ambientes internos e externos, água, bem como os agentes fotocatalíticos dióxido de titânio P-25 e óxido de zinco de origem comercial.

2.2 Métodos

As argamassas foram preparadas seguindo os procedimentos estabelecidos pela NBR 16541. A relação entre material seco e água adotada foi de 3,086 para 1, conforme recomendação do fabricante. A incorporação do TiO_2 foi realizada em diferentes teores, correspondentes a 0% para a amostra de referência, 1%, 2% e 3% em relação à massa do material.
A absorção de água por capilaridade, aos 28 dias de cura, foi determinada de acordo com os procedimentos estabelecidos na NBR 15259. A Figura 1 ilustra os corpos de prova (CP’s) durante o ensaio, procedimento em que foram pesados os CP’s em função do tempo.

Figura 1 – Imagens dos corpos de prova durante o ensaio de



Fonte: os autores.

A determinação da área superficial específica dos fotocatalisadores dióxido de titânio P25, óxido de zinco e da argamassa branca fo realizada por meio da técnica de adsorção de gases, utilizando o método de Brunauer-Emmett-Teller (BET), com nitrogênio como gás adsorvente. As amostras foram previamente submetidas a um processo de desgaseificação a 150 °C por 20 horas, com o

objetivo de remover impurezas e umidade adsorvida, garantindo maior confiabilidade nos resultados obtidos.
As análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foram ensaiadas em um microscópio da marca Jeol, modelo JSM-6510LV, que possibilita a análise da microestrutura da amostra em diferentes ampliações, com tensão de aceleração de 10kV.

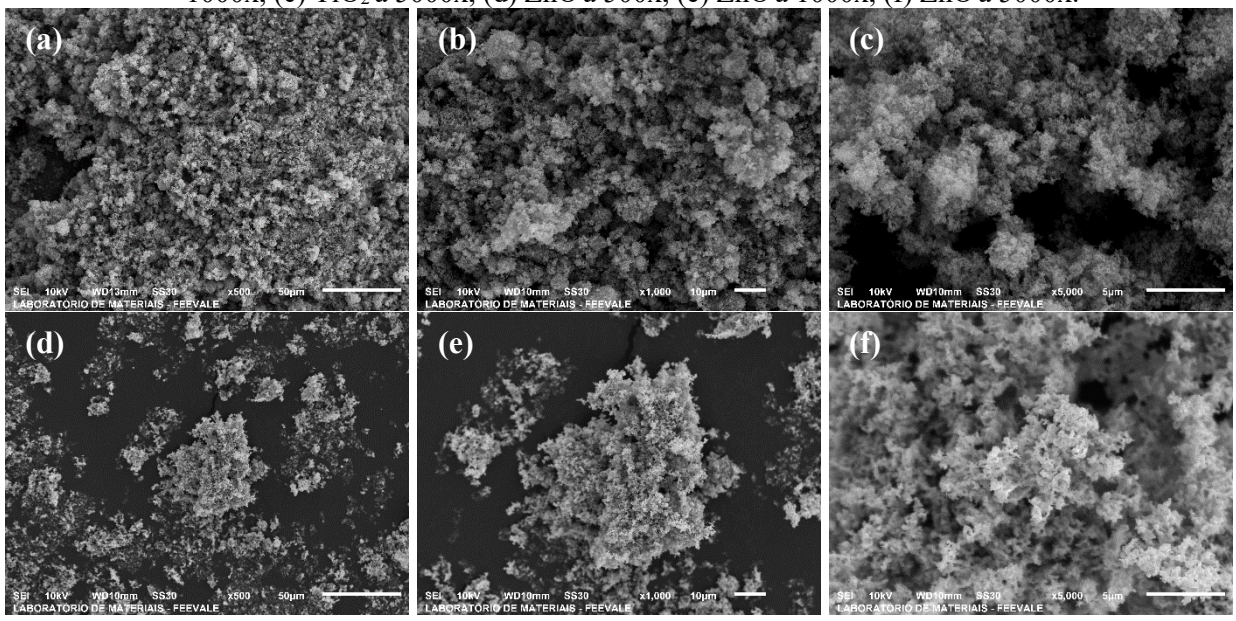
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a discussão dos resultados nesta seção, serão inicialmente apresentadas as caracterizações dos fotocatalisadores. Em seguida, serão expostos os resultados de absorção de água por capilaridade, a fim de analisar a possível correlação entre essas propriedades e seus impactos.

2.1 Caracterização dos fotocatalisadores

A Figura 2 apresenta a comparação das micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura para os materiais TiO_2 e ZnO em três níveis de ampliação. As imagens permitem observar as diferenças morfológicas entre os dois materiais, evidenciando aspectos como forma, distribuição e grau de aglomeração das partículas.

Figura 2 – Comparação de imagens MEV para TiO_2 e ZnO em 3 ampliações: (a) TiO_2 a 500x, (b) TiO_2 a 1000x, (c) TiO_2 a 5000x, (d) ZnO a 500x, (e) ZnO a 1000x, (f) ZnO a 5000x.



Fonte: os autores.

Observa-se que o TiO_2 apresenta uma estrutura mais altamente aglomerada, com formação de aglomerados densos e pouco definidos, dificultando a distinção de partículas individuais. Essa característica indica forte interação entre as partículas e elevada energia superficial, resultando em uma textura mais compacta e irregular. Em contraste, o ZnO apresenta uma morfologia mais aberta e organizada, com aglomerados menos densos e maior definição das partículas, permitindo identificar estruturas mais individualizadas e contornos mais nítidos. Em trabalho de Pereira Lessa *et al.* (2025) encontra-se imagens de MEV semelhantes para os mesmos fotocatalisadores estudados da mesma forma em trabalho de Teles *et al.* (2025) e Teles; Arnold. (2025).

A Tabela 1 apresenta os resultados de área superficial específica obtidos por análise BET para as amostras de TiO_2 e ZnO, permitindo a comparação direta entre os materiais quanto à sua capacidade de área disponível para interação superficial.

Tabela 1 – Resultados de BET para as amostras

Fotocatalisador	Área Superficial (m^2/g)
TiO_2	54,642
ZnO	7,701
Argamassa Branca	6,099

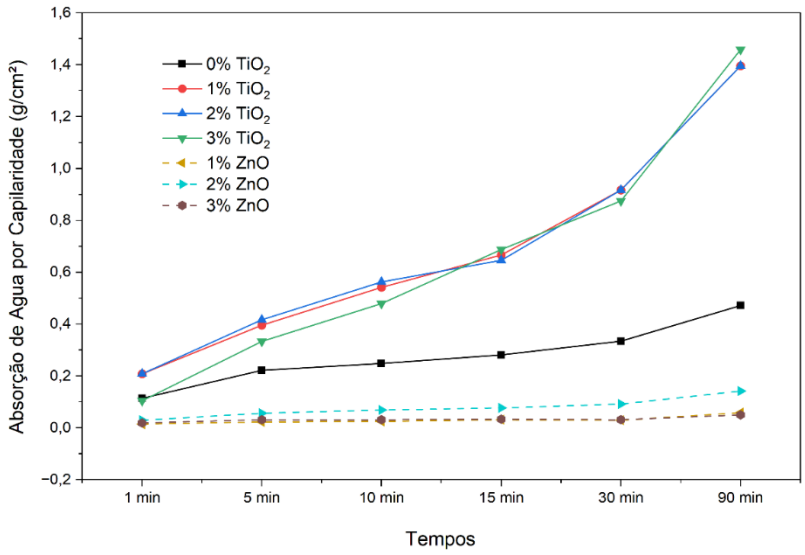
Fonte: os autores.

O TiO_2 possui área superficial superior em relação ao ZnO, com 85,90% maior área. Esse resultado indica que o TiO_2 dispõe de uma quantidade muito maior de superfície disponível por unidade de massa, o que é um fator importante em aplicações que dependem de interações superficiais. Corroborando, Silva *et al.* (2010) encontrou em estudo sobre atividade fotocatalítica ZnO com área superficial de 13 m^2/g e TiO2 com 45 m^2/g.
Ao correlacionar os resultados de BET com as imagens de MEV, observa-se que a elevada área superficial do TiO_2 está associada à presença de partículas muito finas e fortemente aglomeradas, formando estruturas densas compostas por unidades primárias de pequena dimensão. Já o ZnO, que apresentou menor área superficial, exibe nas micrografias partículas mais definidas e menos aglomeradas, sugerindo maior tamanho médio e menor contribuição de área específica.

2.2 Resultados de absorção de água por capilaridade

A Figura 3 apresenta a comparação da absorção de água por capilaridade em função dos diferentes teores de incorporação de fotocatalisadores na argamassa branca, evidenciando as variações no comportamento capilar entre as amostras.

Figura 3 – Comparação da absorção de água por capilaridade de diferentes teores de incorporação de fotocatalisadores na argamassa branca



Fonte: os autores.

Observou-se que, para cada fotocatalisador avaliado, o comportamento da absorção de água por capilaridade foi semelhante entre os diferentes teores de incorporação. Quando comparadas à amostra de referência, as formulações com TiO_2 apresentaram aumentos expressivos na absorção capilar, sendo o teor de 3% o que promoveu o maior incremento, atingindo aproximadamente 209,1%. Em contrapartida, as amostras contendo ZnO apresentaram reduções da absorção, com destaque para o teor de 3%, que resultou em uma diminuição de aproximadamente 89,4%, evidenciando um comportamento oposto entre os fotocatalisadores.

As amostras contendo ZnO apresentaram valores diminuindo a absorção de água em relação à referência, o que pode ser explicado pelo tamanho de partícula mais compatível com os constituintes da matriz cimentícia, resultando em baixa interferência na estrutura porosa. Em contrapartida, as argamassas com TiO_2 apresentaram maior absorção capilar, comportamento associado ao seu tamanho de partícula menor e à elevada área superficial específica, que aumentam a demanda de água e podem favorecer a formação de aglomerados. Esses fatores contribuem para alterações na rede de poros capilares, promovendo maior conectividade e facilitando a absorção de água (DOĞAN *et al*., 2021)

O trabalho de Zhong *et al*. (2022) investigou a influência do nano-TiO_2 na absorção de água por capilaridade em concretos com agregado reciclado, especialmente após ciclos de congelamento e degelo. Os autores avaliaram a absorção ao longo do tempo e analisaram a distribuição de poros por meio de técnicas de imagem, verificando também a microestrutura por microscopia eletrônica. Os resultados mostraram que a incorporação de TiO_2 pode reduzir a absorção de água e a porosidade quando há boa dispersão, devido à formação adicional de gel C-S-H, que densifica a matriz e reduz a conectividade dos poros. Esse estudo corrobora que a absorção de água está diretamente ligada à estrutura porosa e à dispersão das partículas na matriz cimentícia. Assim, embora o TiO_2 tenha potencial para diminuir a absorção ao atuar como refinador de poros, quando mal disperso ou em condições distintas (como em argamassas), pode favorecer a formação de aglomerados e aumentar a conectividade capilar, explicando resultados em que se observa maior absorção.

A Tabela 2 apresenta os valores de absorção de água por capilaridade aos 10 e 90 minutos, bem como a variação de massa (Δm) e o coeficiente de capilaridade (C) das argamassas com diferentes teores de TiO_2 e ZnO.

Tabela 2 – Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade das argamassas

Amostra	10 min (g/dm²)	90 min (g/dm²)	Δm (g/dm²)	C (g/dm²·min^{0,5})
0%	0,24844	0,47187	0,22343	0,035
TiO_2 1%	0,54167	1,39583	0,85416	0,135
TiO_2 2%	0,56250	1,39583	0,83333	0,132
TiO_2 3%	0,47917	1,45833	0,97916	0,155
ZnO 1%	0,02500	0,05833	0,03333	0,005
ZnO 2%	0,06875	0,14167	0,07292	0,012
ZnO 3%	0,03125	0,05000	0,01875	0,003

Fonte: os autores.

As amostras com TiO_2 apresentaram coeficientes de capilaridade superiores à referência que é 0%, indicando maior facilidade de transporte de água, possivelmente associada ao aumento da conectividade dos poros devido à presença de nanopartículas e sua tendência à aglomeração. Em contrapartida, as argamassas com ZnO apresentaram coeficientes significativamente menores, sugerindo uma estrutura porosa menos conectada e maior resistência à penetração de água. Além disso, a variação do teor de incorporação não resultou em mudanças expressivas, indicando que o comportamento está mais relacionado à interação e dispersão das partículas na matriz do que à quantidade adicionada.

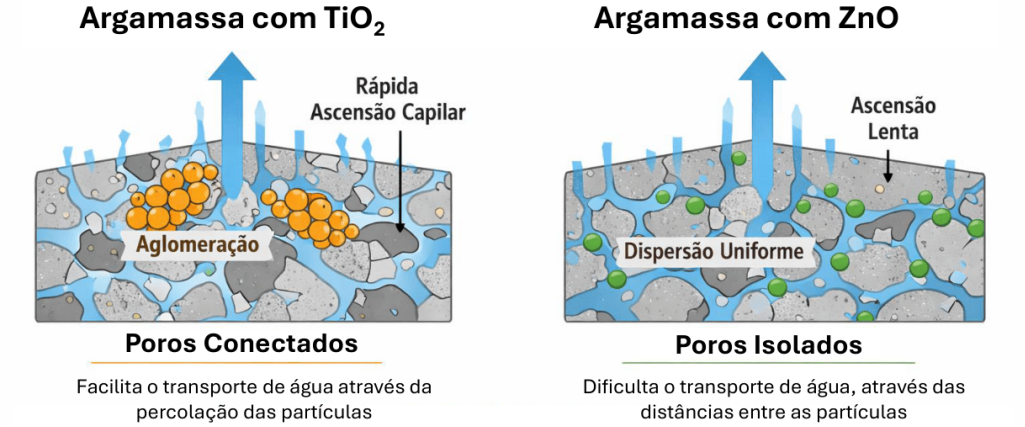
Do ponto de vista das manifestações patológicas, o aumento da absorção de água por capilaridade está diretamente relacionado à maior suscetibilidade ao desenvolvimento de manifestações em revestimentos argamassados, uma vez que facilita o transporte de umidade e de agentes agressivos para o interior da matriz. Segundo Ximenes *et al*. (2023), a presença de água nos poros é um dos principais fatores desencadeadores de manifestações como eflorescências, manchas superficiais e crescimento biológico, pois atua como meio de dissolução e transporte de sais, além de criar condições favoráveis para a proliferação de microrganismos.

Nesse contexto, em argamassas autolimpantes, torna-se especialmente relevante a ação fotocatalítica e antimicrobiana dos materiais incorporados, como TiO_2 e ZnO, uma vez que esses podem contribuir para a degradação de matéria orgânica e inibição do crescimento de fungos na superfície. Assim, mesmo diante de uma maior absorção capilar, a presença de fotocatalisadores com atividade antimicrobiana pode atuar como um mecanismo mitigador das manifestações patológicas, auxiliando na manutenção da estética e no desempenho do revestimento ao longo do tempo (DE MARIA *et al*., 2024).

O estudo de Pereira Lessa *et al.* (2025) investigou a aplicação de revestimentos fotocatalíticos à base de TiO_2 e ZnO em substratos cimentícios voltados para fachadas, avaliando diferentes métodos de aplicação e o desempenho fotocatalítico e microestrutural dos materiais. Os autores verificaram que a incorporação de partículas nanométricas de TiO_2 promove o preenchimento de vazios e poros na matriz da argamassa, resultando na redução da porosidade capilar, o que contribui para o aumento da durabilidade e para a diminuição da absorção de água por capilaridade. Além disso, observaram que a adição do fotocatalisador reduz a rugosidade superficial, favorecendo a eficiência, a resistência e o desempenho global do revestimento.

A Figura 4 ilustra, de forma comparativa, o efeito da incorporação de TiO_2 e ZnO na microestrutura e no transporte capilar de água nas argamassas.

Figura 4 – Representação esquemática da influência de TiO_2 e ZnO na absorção de água por capilaridade em argamassas



Fonte: os autores.

O esquema ilustra, de forma comparativa, o efeito da incorporação de TiO_2 e ZnO na microestrutura e no transporte capilar de água nas argamassas, evidenciando que o TiO_2 está associado a uma maior conectividade dos poros e à formação de caminhos preferenciais para a ascensão da água, resultando em maior absorção capilar, enquanto o ZnO apresenta uma distribuição mais homogênea, contribuindo para uma estrutura com poros menos conectados e menor facilidade de transporte de água, fortemente atribuído à área superficial, tamanho das partículas e empacotamento (PALANISAMY *et al*., 2023). Dessa maneira, o aumento da absorção capilar favorece manifestações patológicas, ocasionando acúmulo de umidade no revestimento, criando condições propícias para o surgimento de manchas, eflorescências e, especialmente, o desenvolvimento de mofo e microrganismos, o que pode comprometer a durabilidade do sistema. Apesar do aumento da absorção capilar nas argamassas com TiO_2, seu uso não é inviabilizado, mas requer controle da dispersão e da microestrutura. O comportamento observado está mais relacionado à aglomeração das nanopartículas do que ao teor incorporado, indicando que melhorias na dispersão podem reduzir esse efeito. Além disso, a aplicação superficial por aspersão surge como alternativa viável, permitindo manter a atividade fotocatalítica sem alterar a rede de poros. Assim, é possível conciliar desempenho autolimpante e durabilidade do revestimento. Já com relação ao ZnO torna-se favorável sua aplicação em argamassa de revestimento buscando-se redução da absorção de água, podendo-se auxiliar na mitigação de manifestações patológicas.

4. CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que a incorporação de fotocatalisadores influencia o comportamento capilar das argamassas, sendo observado aumento da absorção nas formulações com TiO_2 e redução nas que contêm ZnO, evidenciando efeitos distintos relacionados ao tamanho de partícula, área superficial e empacotamento na matriz cimentícia. O aumento da absorção capilar pode favorecer manifestações patológicas associadas à presença de umidade, como manchas, eflorescências e crescimento biológico, contudo, a atividade fotocatalítica e antimicrobiana desses materiais pode atuar na mitigação desses efeitos. Dessa forma, enquanto o ZnO se mostrou promissor para reduzir a absorção de água em argamassas de revestimento, o uso de TiO_2 permanece viável quando associado a estratégias de controle de dispersão ou aplicação superficial, possibilitando conciliar propriedades autolimpantes com desempenho físico adequado do revestimento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio financeiro concedido ao projeto por meio de fomento à pesquisa, que possibilitou o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16541: Revestimentos de argamassa — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15259: Argamassas — Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BEHLING, Valéria Santos et al. Revisão de literatura sob a perspectiva da análise sistemática de argamassas autolimpantes. **REVISTA DELOS**, v. 18, n. 69, p. e5795-e5795, 2025.

DE MARIA, Vitor Peixoto Klienchen et al. Advances in ZnO nanoparticles in building material: Antimicrobial and photocatalytic applications–Systematic literature review. **Construction and Building Materials**, v. 417, p. 135337, 2024.

DOĞAN, Fatih; DEHGHANPOUR, Heydar. Characterization and hydrophobic surface study of silicon-based TiO2, ZnO and recycled carbon additives on cementitious materials surface. **Journal of Building Engineering**, v. 40, p. 102689, 2021.

JIANG, Zhuoying; ZHANG, Bin; YU, Xiong. Photocatalytic cement mortar with durable self-cleaning performance. **Catalysts**, v. 15, n. 3, p. 249, 2025.

KHAN, Samreen Heena; PATHAK, Bhawana. Zinc oxide based photocatalytic degradation of persistent pesticides: A comprehensive review. **Environmental nanotechnology, monitoring & management**, v. 13, p. 100290, 2020.

NAM, Yeonsig et al. Photocatalytic activity of TiO 2 nanoparticles: a theoretical aspect. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 7, n. 23, p. 13833-13859, 2019.

PALANISAMY, Chandrasekaran et al. Study on the Behavior of Self-Cleaning Impregnated Photocatalyst (Tio2) with Cement Mortar. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2023, n. 1, p. 3571526, 2023.

PEREIRA LESSA, Fabíula et al. Application of nano-TiO2 and micro-ZnO on cementitious surfaces for self-cleaning façades by spray coating and dip coating: A comparative study. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 10, n. 1, p. 16, 2025.

POZO-ANTONIO, José Santiago; DIONÍSIO, Amelia. Self-cleaning property of mortars with TiO2 addition using real diesel exhaust soot. **Journal of Cleaner Production**, v. 161, p. 850-859, 2017.

SILVA, Shirley Santana; MAGALHÃES, Fabiano; SANSIVIERO, Maria Terezinha C. Nanocompósitos semicondutores ZnO/TiO2: testes fotocatalíticos. **Química nova**, v. 33, n. 1, p. 85-89, 2010.

TELES, Ramon Mendonça et al. Avaliação do efeito autolimpante promovido pela aspersão de fotocatalisadores em argamassa de revestimento. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, v. 15, 2025.

TELES, R. M.; ARNOLD, D. C. M. Análise e caracterização de dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de zinco (ZnO) para aplicação em argamassas autolimpantes. **In: SENAFOR**, 2024, Porto Alegre. Anais do Seminário Nacional de Forjamento, v. 5, p. 635-645, 2024.

XIMENES, José Maria Carvalho Belo; DE JESUS, Carlos Manuel; AGUIAR, José. Surface pathology on the walls of limestone and mortar masonry. **U. Porto Journal of Engineering**, v. 9, n. 3, p. 14-27, 2023.

ZHONG, Chuheng et al. Effect of nano-TiO2 on capillary water absorption of recycled aggregate concrete. **Coatings**, v. 12, n. 12, p. 1833, 2022.

PARTE IV

QUALIDADE E NORMATIZAÇÃO

9 capítulos

CAPÍTULO 53 · Parte IV · Qualidade e normatização
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/k15t4912
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/fff7hc60

ANALISE FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS UTILIZADAS PARA O AMASSAMENTO DO CONCRETO DAS OBRAS PÚBLICAS DO ESTADO DA PARAÍBA

Lívia Nayara Nóbrega de Melo[1]*, Dr. Edmilson Dantas Da Silva Filho[2]; Me. Elnatan Lins da Costa [3]; Dra. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça [4]
* livianayaramais@gmail.com

[1] Graduanda em Construção de Edifícios, Instituto Federal da Paraíba, Campina Grande, Brasil
[2] Doutor em Engenharia Agrícola, Instituto Federal da Paraíba, Campina Grande, Brasil
[3] Mestre em Ciências e Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Amapá, Macapá, Brasil
[4] Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil

RESUMO

Este estudo, teve por objetivo verificar a qualidade da água ofertada em quatro obras públicas do estado da Paraíba para a utilização no amassamento de concreto e posteriormente verificando a compatibilidade com a legislação vigente, à NBR 15900-1/2009. A metodologia consistiu na visita a essas obras para coleta das amostras e em seguida foram realizadas análises laboratoriais com procedimentos de titulação e colorimetria, como pH (potencial hidrogeniônico), alcalinidade (mg/L), cloretos (mg/L), condutividade elétrica (µScm-1), salinidade (mg/L), dureza total (mg/L), dureza de cálcio (mg), dureza de magnésio (mg/L, concentração de Fosfatos (mg/L) e Sulfatos(mg/L). Os resultados da pesquisa indicaram que apesar de todas as obras utilizarem originalmente água fornecida pela CAGEPA, diversas amostras apresentaram alteração nos parâmetros, em razão do armazenamento e manejo nos canteiros. O resultado das análises mostrou que apesar de todas as amostras apresentarem alterações significantes em razão da contaminação por cimento presente nas obras, não havia risco a estrutura causado pelo uso de águas inadequadas.
Palavras-chave: qualidade da água; amassamento de concreto; reações de hidratação.

ABSTRACT

This study aimed to verify the quality of water supplied to four public works projects in the state of Paraíba for use in concrete mixing and subsequently verify its compatibility with current legislation, specifically NBR 15900-1/2009. The methodology consisted of visiting the construction sites to collect samples, followed by laboratory analyses using titration and colorimetry procedures, including pH (hydrogen ion potential), alkalinity (mg/L), chlorides (mg/L), electrical conductivity (µScm-1), salinity (mg/L), total hardness (mg/L), calcium hardness (mg), magnesium hardness (mg/L), phosphate concentration (mg/L), and sulfate concentration (mg/L). The research results indicated that, despite all the projects originally using water treated

by CAGEPA, several samples included in the study showed alterations in parameters due to storage and handling on the construction sites. There was no structural risk caused by the use of groundwater.
Keywords: water quality; concrete mixing; hydration reactions.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o homem aperfeiçoou a forma como construía, usando a princípio, os materiais que encontrava disponíveis na natureza e em pouco tempo, era capaz de adaptá-los conforme suas necessidades. Contudo, longo foi o caminho até que essas técnicas fossem aperfeiçoadas construções para atender as necessidades do homem, sendo necessário obter um material que conferisse resistência e durabilidade, o concreto (BAUER, 2015).

Sendo um dos materiais mais utilizados atualmente na construção civil, graças a seu baixo custo, quando comparado a outros materiais, fácil acesso as matérias primas e boa resistência à água, tendo vantagem sobre o aço e ferro, nesse quesito (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Os autores apresentam o concreto como um material compósito, composto por um meio aglomerante (na grande maioria das vezes formado pelo cimento Portland e água) que está aglutinado com as partículas ou fragmentos de agregado.

Para garantir que o concreto exerça seu papel estrutural de forma eficaz, é essencial que as reações de hidratação do cimento ocorram de forma correta. O cimento é um pó cinza com partículas entre 1 e 50 μm, formado a partir da moagem do clínquer com o gesso (CaSO4), sendo o clínquer composto por C3S (silicato tricálcico), C2S (silicato dicálcico), C3A (aluminato tricálcico) e C4F (ferro-aluminato tetracálcico) (NEVILLE, 2016).

Quando esse cimento entra em contato com a água, o sulfato de cálcio os compostos de cálcio entram em solução, e a fase liquida torna-se saturada com diversos tipos de íons. Essa reação, gera três principais produtos, sendo os cristais aciculares de trissulfoaluminato de cálcio hidratado, também chamados etringita, formado nos primeiros minutos. Horas depois formam-se grandes cristais prismáticos de hidróxido de cálcio, a portlandita ou CH, e por último se formam pequenos cristais fibrosos de silicato de cálcio hidratado, abreviados como C-S-H, que começam a preencher os espaços vazios antes ocupados por água (BAUER, 2015).

Testes laboratoriais, comprovaram que a quantidade de água adicionada ao cimento, exerce influência direta sobre o aumento ou diminuição da porosidade do concreto e consequentemente, a resistência final que o material irá apresentar, essa relação é conhecida como relação água/cimento (HELENE, 2005). Considerando que a água é o agente responsável por desencadear a reação de hidratação do cimento sua composição química assume papel fundamental no desempenho do concreto, uma vez que, Libânio (2016) nos explica que a água em seu estado natural apresenta diversos constituintes físico-químicos dissolvidos cuja presença e concentração variam conforme sua origem. Nesse contexto, a ABNT NBR 15900-1 estabelece requisitos e limites para substâncias presentes na água de amassamento, reconhecendo que contaminantes como sais, íons metálicos e compostos orgânicos podem alterar o tempo de pega, a reologia e o desenvolvimento da resistência mecânica do concreto. Battagin e Battagin (2019) ressaltam que o uso de água fora dos limites normativos pode resultar em perda do desempenho mecânico além de favorecer o surgimento de patologias em médio e longo prazos, comprometendo a durabilidade das construções.

A existência de uma norma que delimite os parâmetros seguros para utilização da água no amassamento do concreto, amplia as possibilidades de utilização de fontes alternativas de água em

sua produção, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos, contanto que as fontes não usuais de água, atenda aos requisitos normativos. Ao permitir o uso de águas provenientes de outras fontes, além da rede de abastecimento, a ABNT NBR 15900-1 possibilita a utilização de águas provenientes de redes pluviais, recuperada de processos industriais, entre outras fontes, sendo possível destinar a água potável de forma majoritária, para o consumo humano, sem, contudo, deixar de lado o rigor técnico necessário na construção civil.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo a realização de testes nas águas utilizadas para amassamento de concreto nas obras públicas da paraíba, provenientes da rede pública de abastecimento para verificar a compatibilidade com a norma vigente, a NBR 15900-1, por meio de ensaios laboratoriais foram identificados os parâmetros físico-químicos das amostras recolhidas e seus resultados analisados de forma conjunta a fim de determinar possíveis contaminantes e a viabilidade da utilização dessa água.

2. METODOLOGIA

Este foi um estudo de natureza experimental e abordagem quantitativa, onde foram analisadas amostras de águas utilizadas em obras públicas no estado da Paraíba, a fim de obter os parâmetros de qualidade, para comparar os resultados com os índices normativos da ABNT NBR 15900-1, a partir da determinação de parâmetros físico-químicos relevantes para o desempenho do concreto.

A coleta foi realizada através de visitas a quatro obras públicas no estado da Paraíba, cuja água utilizada era fruto da rede de abastecimento público. As amostras foram recolhidas diretamente nos pontos de uso, que em todas as obras correspondiam a caixas d'água instaladas em locais de fácil acesso. Após a coleta as amostras foram acondicionadas em recipientes limpos de 5 litros, devidamente identificados, e transportadas ao laboratório para a realização dos ensaios, de modo a evitar contaminações externas que pudessem interferir nos resultados.

Foram realizadas análises físico-químicas nas amostras, correspondentes aos meses de coleta, focando nos parâmetros de qualidade essenciais, tais como: pH (potencial hidrogeniônico), alcalinidade (mg/L), condutividade elétrica (µScm-1), salinidade (mg/L, dureza total (mg/L), dureza de cálcio (mg/L), dureza de magnésio (mg/L), sólidos totais dissolvidos (ppm), cloretos (mg/L), concentração de Fosfatos (mg/L) e Sulfatos (mg/L).

Os resultados obtidos foram analisados de forma conjunta, considerando o contexto de uso, forma de armazenamento e base normativa, a fim de determinar a usabilidade da água para o amassamento do concreto e determinar a fonte das contaminações encontradas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante as visitas para coleta, observou-se que todas as obras utilizavam águas provenientes da rede pública de abastecimento, sob responsabilidade da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), que deve garantir água potável e livre da presença de contaminantes nocivos à saúde humana ou capazes de interferir na hidratação e cura do concreto. Contudo, foi observado que a água utilizada pelos trabalhadores para o amassamento do concreto, ficava armazenada em caixas d'água destampadas (Figura 1), a fim de facilitar o manuseio, contudo, essa estratégia deixa a água exposta a contaminações posteriores, que podem ser causadas por partículas de concreto como foi identificado nessa pesquisa, ou por algum outro material presente no ambiente de obra, capaz de gerar riscos à estrutura.

Figura 1: Caixa d'água onde água para amassamento do concreto fica armazenada nas obras.



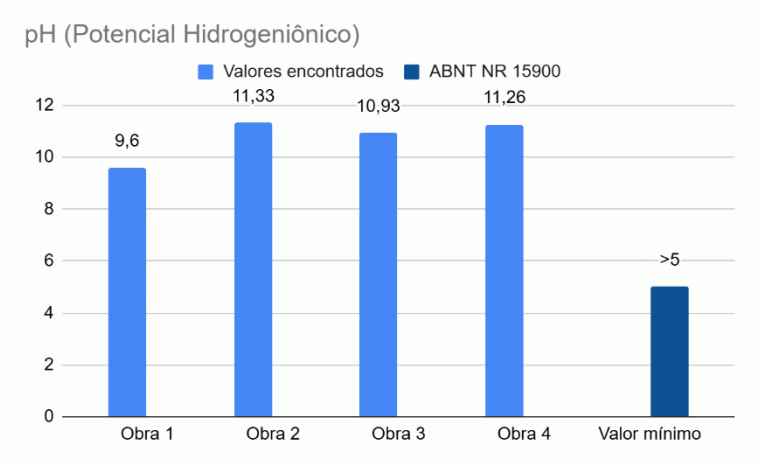
Fonte: Autoria própria, 2026.

Considerando a proximidade dos valores obtidos entre as amostras analisadas, os resultados foram discutidos de forma agrupada, por parâmetro físico-químico, de modo a facilitar a análise comparativa com os limites estabelecidos pela ABNT NBR 15900-1.

3.1 pH (Potencial Hidrogeniônico)

O pH (Potencial Hidrogeniônico), é um dos principais parâmetros no que diz respeito a análise de água. De acordo com Taylor (apud ORTOLAN, 2015) uma pasta de cimento Portland bem hidratada, tem o pH entre 12,5 e 13,5, assim, se inserido em meio ácido, o concreto feito a partir dessa pasta fica em desequilíbrio químico. Pereira e Monteiro (2011) explicam que o alto pH do concreto, preserva as armaduras nele presente. Contudo, quando o pH é reduzido, o equilíbrio químico é afetado, possibilitando a ocorrência do fenômeno de despassivação da armadura. Os autores. explicam que para evitar essa ocorrência, é preciso reduzir ao máximo a relação água cimento e aumentar o tempo de cura, tornando o concreto menos permeável. A figura 2 apresenta os resultados de pH obtidos para as amostras:

Figura 2: Valores de pH obtidos para as amostras analisadas



Fonte: Autoria própria, 2026.

Nas quatro amostras analisadas, foram encontrados resultados elevados (Figura 2), com valores entre 9,6 e 11,33. Apesar da alteração no parâmetro tornar essa água imprópria para consumo humano de acordo com os critérios estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, não causa qualquer interferência em sua utilização para o amassamento do concreto, estando compatível com o valor exigido pela ABNT NBR 15900-1, que permite o uso de águas com pH superior a 5, considerando que as amostras foram coletadas em caixas de armazenamento e não diretamente da rede de distribuição.

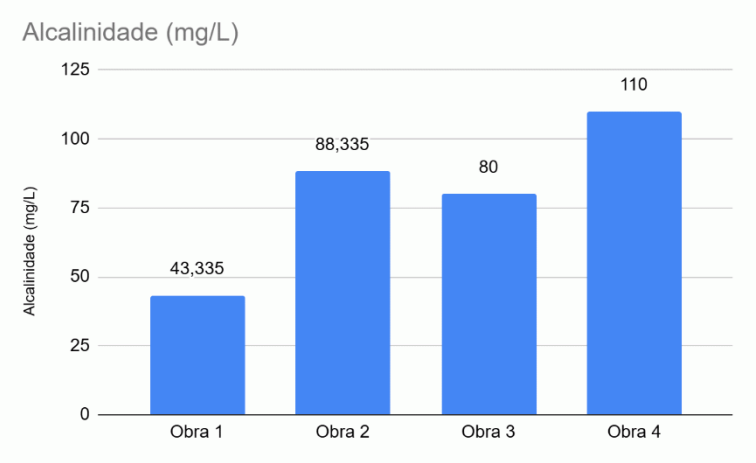
3.2 Alcalinidade

Apesar da alcalinidade não ser um parâmetro regulamentado pela ABNT NBR 15900-1, sua análise é de suma importância para entender a composição da água, visto que ela indica a quantidade de íons presentes capazes de reagir para neutralizar os íons hidrogênio. Trata-se de uma medida da capacidade da água de neutralizar ácidos, ou seja, de resistir a variações de pH (capacidade tampão) (VON SPERLING, 1996). Para o amassamento do concreto, essa é uma qualidade desejável na água, desde que encontrada dentro de valores adequados, visto que a acidez do meio é nociva ao concreto.

Silva et al. (2018) encontraram, em suas pesquisas, uma alcalinidade média de 23,7 mg/L, valor considerado adequado para consumo humano e compatível com a utilização no concreto. Contudo, valores elevados de alcalinidade, embora não usuais, não são nocivos ao concreto, ao contrário, contribuem para sua maior resistência em ambientes de elevada acidez.

A figura apresenta os resultados para alcalinidade obtidos nesse estudo para as amostras:

Figura 3: Valores de alcalinidade obtidos para as amostras analisadas



Fonte: Autoria própria, 2026.

Nas amostras destinadas ao concreto, foram encontrados valores adequados para alcalinidade (Figura 3), que apesar de não ser regulamentado por norma, é um parâmetro que representa uma segurança a mais a qualidade do concreto tendo em vista que o meio alcalino preserva a armadura

3.3 Condutividade e salinidade

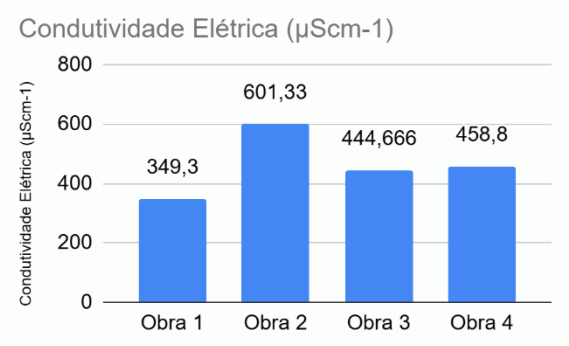
De acordo com Pinto (2006, apud NASCIMENTO, 2014), a condutividade elétrica é uma medida da habilidade de uma solução aquosa de conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons. Já a salinidade, refere-se à dissolução de sais minerais compostos por "ânions como cloreto, sulfato e bicarbonato e cátions como cálcio, magnésio, potássio e sódio." (LIBÂNIO, 2016). Ambos os parâmetros apresentam relação direta, uma vez que refletem a presença de sais dissolvidos na água.

Nesse contexto, em um estudo semelhante, Silveira (2023) encontrou um valor médio de condutividade elétrica de 1445,2 µS/cm e salinidade média de 709,4 mg/L, em águas utilizadas no amassamento de concreto. Contudo, uma das amostras apresentou valores de condutividade elétrica de 14.080 µS/cm e salinidade de 8285,2 mg/L, sendo que esta última amostra apresentou, posteriormente, alteração nos valores de cloreto, substância nociva às armaduras do concreto.

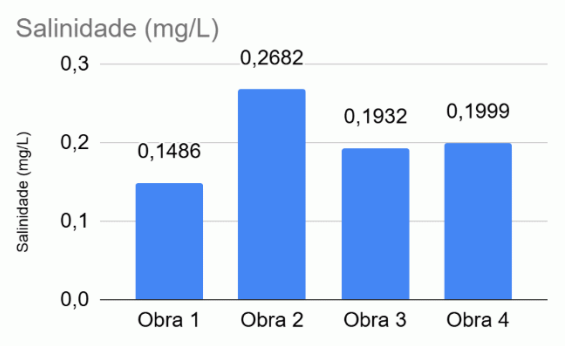
Dessa forma, apesar de não serem parâmetros regulados pela norma vigente, a condutividade elétrica e a salinidade podem servir como indicadores de possíveis alterações nos valores de íons cloreto e/ou sulfato, uma vez que variações nesses parâmetros refletem mudanças na concentração de sais dissolvidos na água, sendo, portanto, ensaios relevantes mesmo quando não exigidos por norma.

As figuras 4 e 5 apresentam os resultados de condutividade e salinidade obtidos nesse estudo para as amostras:

Figura 4: Valores de condutividade elétrica obtidos para as amostras analisadas



Fonte: Autoria própria, 2026.



Fonte: Autoria própria, 2026.

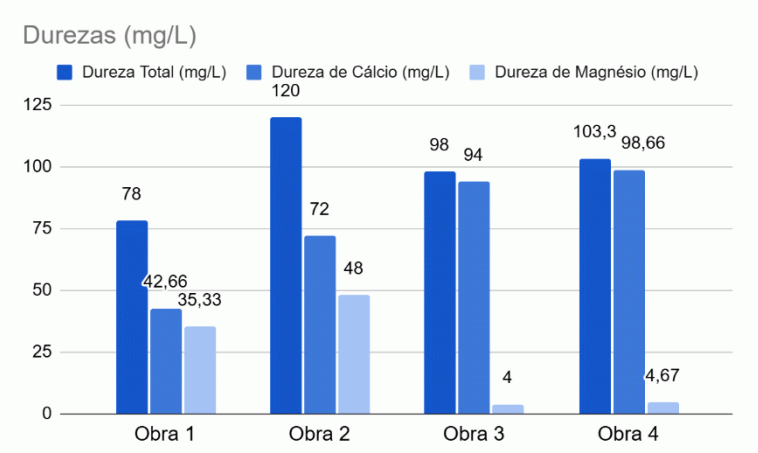
Figura 5: Valores de salinidade obtidos para as amostras analisadas.

Nas água analisada, foram observados valores normais (Figuras 4 e 5), e não indicam necessidade de preocupação com agentes nocivos ao concreto.

3.4 Durezas

De acordo com Von Sperling (1996), a dureza da água está relacionada principalmente à presença de íons cálcio e magnésio dissolvidos, sendo um parâmetro indicativo da mineralização da água e de sua interação com materiais geológicos. Apesar de não exigido por norma, o parametro foi essencial para compreender as alterações identificadas nos testes de pH e alcalinidade. A figura 6 apresenta os resultados de dureza total, dureza de cálcio e dureza de magnésio obtidos para as amostras:

Figura 6: Valores de dureza total, dureza de cálcio e dureza de magnésio obtidos para as amostras analisadas.



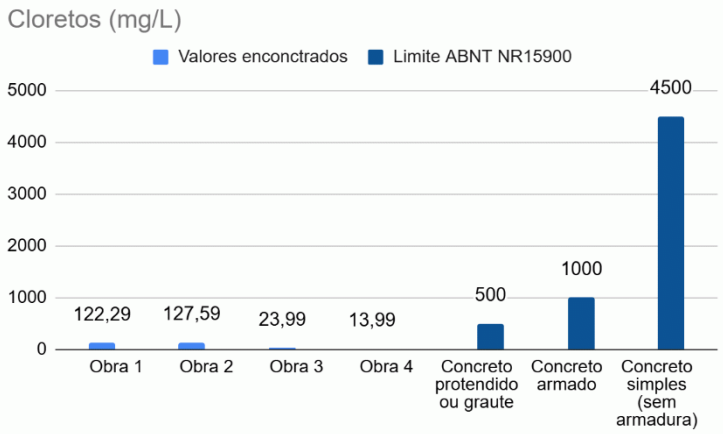
Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Figura 6, podemos observar uma elevação considerável na dureza de cálcio, em especial nas Obras 3 e 4, onde a dureza de magnésio foi quase inexistente. Esse resultado, considerando que as amostras foram coletadas em caixas de uso nas obras, pode ser explicado pelo ambiente ao qual essa água estava exposta antes da coleta e pela composição do cimento Portland, produzido a partir de grandes quantidades de calcário. Assim, pode-se atribuir essas alterações a pequenas partículas de cimento presentes no ar que entraram em contato com a água, sem apresentar qualquer risco à durabilidade do concreto.

3.5 Cloretos

A análise de cloretos, diz respeito a presença de íons advindos da dissolução de sais, nesse caso, o Cloreto de sódio (NaCl). Neville (2016) explica, que a penetração de cloretos em concretos com alta porosidade, causam o rompimento da camada passivadora do aço presente nas armaduras, que é responsável por protegê-lo das reações eletroquímicas de corrosão e garantir a durabilidade da estrutura. A figura 7 apresenta os resultados de cloretos obtidos para as amostras:

Figura 7: Valores de cloretos obtidos para as amostras analisadas.



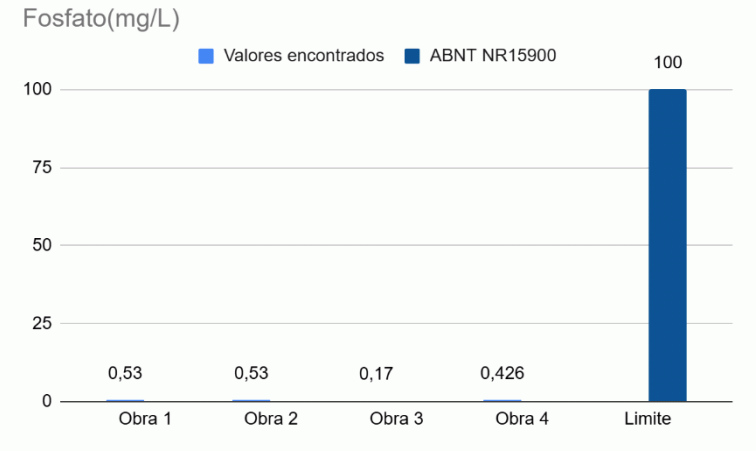
Fonte: Autoria própria, 2026.

Na figura 7, observamos uma presença baixíssissima dos íons de cloreto, quando comparados as exigencias da norma, garantindo que a água utilizada nessas construção não causará danos a armadura do concreto.

3.6 Fosfatos

A análise de fosfatos no contexto de águas, serve como indicador de diversos tipos de contaminações como esgoto, agrotóxicos ou detergentes e produtos de limpeza. Neville (2016), afirma que, em elevadas temperaturas, altas concentrações de fosfatos retardam a pega do concreto. Portanto, a presença de fosfatos na água utilizada para o amassamento, reforçará esse efeito sem a possibilidade de prever o comportamento do concreto e colocando em risco à estrutura. De acordo com Xie et al. (2021), este efeito deve-se à formação de uma camada de fosfatos insolúveis que reveste as partículas de clínquer, bloqueando as reações químicas necessárias para o ganho de resistência inicial. A figura 8 apresenta os resultados de fosfatos obtidos para as amostras:

Figura 8: Valores de fosfatos obtidos para as amostras analisadas.



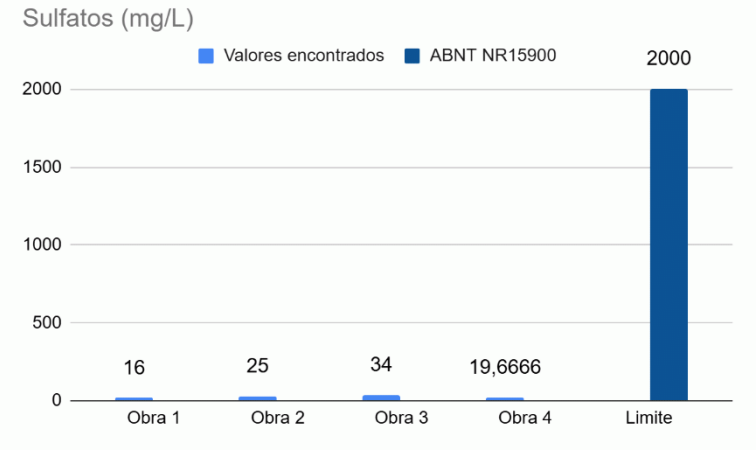
Fonte: Autoria própria, 2026.

Nas amostras analisadas, os valores encontrados foram mínimos em comparação com os limites permitidos por norma (Figura 8) e não apresentam risco as cosntruções.

3.7 Sulfatos

Nas obras, o sulfato é um fator de grande importância a ser observado nas águas, pois, quando em excesso o "íon sulfatos intervém na degradação do concreto, com que pode permitir que a armadura se exponha ao meio ambiente, procedendo-se à corrosão" (GRANATO, 2002). Além disso, o ponto de maior atenção devido a presença de sulfatos, é a formação da etringita tardia. O autor explica que isso se dá devido as reações que ocorrem entre os íons de sulfato e o hidróxido de cálcio que geram o gesso, que por conseguinte reage com o aluminato de cálcio do cimento (C3A), formando sulfoaluminato de cálcio hidratado (etringita). Na reação de hidratação usual, a etringita é o primeiro produto de hidratação, contudo, quando ocorre sua formação tardia, por se tratar de um gel expansivo, causa a fissuração do concreto, fragilizando à estrutura. A figura 9 apresenta os resultados de sulfatos obtidos para as amostras:

Figura 9: Valores de sulfatos obtidos para as amostras analisadas.



Fonte: Autoria própria, 2026.

Na figura 9, observamos uma presença baixissíssima dos íons de sulfa, quando comparados as exigencias da norma, garantido que a obra não sofrerá ataques por sulfato advindo da água de amassamento.

4. CONCLUSÃO

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo analisar a qualidade físico-química das águas utilizadas em obras públicas no amassamento do concreto em obras do estado da Paraíba e verificação de sua compatibilidade com os limites estabelecidos pela ABNT NBR 15900-1. Os resultados dos testes feitos em laboratórios mostraram que todas as obras estavam em conformidade com a norma e que a água não demostrava qualquer risco as edificações referidas. Os resultados obtidos, reforçam ainda a necessidade de armazenar corretamente a água utilizada nas obras, visto que, todas as alterações identificadas podem ser atribuídas a contaminações ocorridas no ambiente das obras, em razão da exposição que sofrem as pequenas partículas de cimento dispersas no ar.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao coordenador da pesquisa, Dr. Edmilson Dantas Da Silva Filho, pelo apoio institucional e pela coordenação do projeto; ao orientador Me. Elnatan Lins da Costa, pela orientação acadêmica e acompanhamento técnico; à Dra. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça, pelas contribuições científicas e suporte durante o desenvolvimento da pesquisa; aos técnicos de laboratório, pelo apoio operacional na realização dos ensaios; ao Instituto Federal da Paraíba, pela infraestrutura disponibilizada; e aos demais colegas discentes pesquisadores, pelo auxílio nas atividades experimentais.

.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900-1: Concreto - Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

BATTAGIN, G. A. F.; SILVA BATTAGIN I. L. Qual o efeito da água na qualidade do artefato de cimento. 2019. Entrevista Site Engenharia Compartilhada. Disponível em: https://www.cimentoitambe.com.br/qual-o-efeito-da-agua-na-qualidade-do-artefato-de-cimento-2/. Acesso em: 21 jan. 2026

BAUER, L. A. F. Materiais de construção. 5. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: LTC, 2015. v. 1.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os padrões de qualidade para água destinada ao consumo humano e seu controle. Brasília, 2021. Disponível em: https://www.gov.br. Acesso em: 22 nov. 2024.

GRANATO, J. E. Patologia das construções. [S.l.]: [s.n.], 2002

HELENE, P.; ANDRADE, T.; Relação água/cimento, porosidade e resistência da pasta e do concreto. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2005

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 4. ed. Campinas: Átomo, 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NASCIMENTO, T. E. P. F. Avaliação da qualidade da água para consumo humano. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

ORTOLAN, V. K. Avaliação da influência do pH e da força iônica da solução dos poros do concreto na resistência à corrosão da armadura. 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Unidade Acadêmica de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2015

PEREIRA, V. C. O.; MONTEIRO, E. C. B. Avaliação da capacidade de proteção de adições minerais em relação à corrosão de armaduras devido à carbonatação. Construindo, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 12–16, jan./jun. 2011

SILVA, A. B. et al. Análise físico-química da água utilizada para consumo nas escolas municipais da zona urbana de Esperança/PB. Biota Amazônia, Macapá, v. 8, n. 3, p. 49–52, 2018. DOI: https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v8n3p49-52. Disponível em: http://periodicos.unifap.br/index.php/biota

SILVEIRA, P. L. N. Propriedades químicas das águas utilizadas para amassamento de concreto na construção civil: estudo de casos no município de Algodão de Jandaíra – PB. 2026. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Construção de Edifícios) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Paraíba, 2023.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. v. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

XIE, L. et al. Hydration and Strength Development of Cementitious Materials Prepared with PHospHorous-Bearing Clinkers. Materials, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 508, jan. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ma14030508. Acesso em: 25. jan. 2026

CAPÍTULO 54 · Parte IV · Qualidade e normatização
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/vdmtpd78
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/4672dk24

ANÁLISE DO ATENDIMENTO À NBR 15575 NO SISTEMA DE PISOS: ESTUDO DE CASO EM UMA CONSTRUTORA

Milton Paulino da Costa Junior[1]*, Juliani Giori da Silva[2]; Sayonara Maria de Moraes Pinheiro[3]
*Autor de contato: milton.paulino@gmail.com

[1] Departamento de engenharia civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil
[2] Departamento de engenharia civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil
[3] Departamento de engenharia civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil

RESUMO

A garantia da qualidade do sistema de pisos está diretamente relacionada ao atendimento dos requisitos estabelecidos pela Norma de Desempenho (NBR 15575). Essa norma define as exigências dos usuários para edificações habitacionais e seus sistemas, considerando seu comportamento em uso. Esse trabalho tem como objetivo analisar os mecanismos adotados por uma empresa construtora para atender aos requisitos da norma de desempenho, referente ao sistema de pisos. A pesquisa foi conduzida por meio de estudo de caso em uma empresa construtora, tendo como principal estratégia metodológica a análise documental. Complementarmente, foram realizadas entrevistas semiestruturadas, inspeção visual in loco do sistema de pisos executado em obra e registro fotográfico. A análise dos dados baseou-se na verificação sistemática de requisitos de desempenho estabelecidos pela NBR 15575 para o sistema de pisos, confrontando as evidências coletadas com os critérios normativos aplicáveis. Observou-se, a partir dos resultados obtidos, que apenas um dos requisitos analisados apresentou conformidade com a norma, evidenciando fragilidades relevantes no sistema de gestão da qualidade e na rastreabilidade das evidências de desempenho adotadas pela empresa. Destacam-se, nesse contexto, a elevada dependência de documentação fornecida por terceiros e a insuficiência de mecanismos sistemáticos de verificação em campo, como fatores que comprometem a consistência e a confiabilidade da comprovação do atendimento aos requisitos normativos.
Palavras-chave: NBR 15575; sistema de pisos; qualidade; norma de desempenho.

ABSTRACT

The quality assurance of the flooring system is directly related to meeting the requirements established by the Performance Standard (NBR 15575). This standard defines the requirements of users for residential buildings and their systems, considering their behavior in use. This work aims to analyze the mechanisms adopted by a construction company to meet the requirements of the performance standard, referring to the flooring system. The research was conducted through a case study in a construction company, having as its main methodological strategy the documentary analysis. In addition, semi-structured interviews, on-site visual inspection of the flooring system executed on site and photographic record were carried out. The data analysis was based on the systematic verification of the performance requirements established by NBR 15575 for the floor system, confronting the evidence collected with the applicable normative criteria. It was observed,

from the results obtained, that only one of the requirements analyzed was in compliance with the standard, evidencing relevant weaknesses in the quality management system and in the traceability of the performance evidence adopted by the company. In this context, the high dependence on documentation provided by third parties and the insufficiency of systematic mechanisms for verification in the field stand out, as factors that compromise the consistency and reliability of proof of compliance with regulatory requirements.
Keywords: NBR 15575; flooring system; quality; performance standard.

1. INTRODUÇÃO

A Norma de Desempenho consolidou-se como instrumento fundamental para a promoção da qualidade no setor da construção civil. Estruturada em requisitos e critérios técnicos, estabelece parâmetros destinados a assegurar o desempenho mínimo das edificações habitacionais ao longo de sua vida útil de projeto. A exigência de seu atendimento por empresas certificadas em sistemas de gestão da qualidade, como aquelas participantes do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), reforça sua relevância estratégica (DUARTE et al. 2020; CUNHA et al., 2024). Nesse contexto, a conformidade com a norma constitui fator determinante para a mitigação de riscos técnicos e jurídicos, bem como para a manutenção da competitividade das construtoras em um mercado caracterizado por elevada concorrência e crescente nível de exigência dos usuários. (KERN et al., 2014; SCHUCH et al., 2019).

A Norma de Desempenho (ND) fundamenta-se na definição de requisitos qualitativos, critérios quantitativos, premissas de projeto e métodos de avaliação destinados à verificação objetiva do atendimento aos níveis de desempenho estabelecidos. Sua estrutura normativa permite mensurar, de forma técnica e sistematizada, o cumprimento das exigências aplicáveis aos sistemas construtivos. Embora as normas técnicas não possuam natureza legal em sentido estrito, sua obrigatoriedade é respaldada pelo Código de Defesa do Consumidor, instituído pela Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990, que impõe o atendimento às normas técnicas vigentes como requisito de conformidade e qualidade (SOUZA et al., 2018; CARVALHO et al., 2020).

Souza et al. (2018) e Cordovil (2013) destacam que o não atendimento aos requisitos estabelecidos pela Norma de Desempenho, bem como falhas ocorridas durante o processo executivo, podem expor a empresa responsável pelo empreendimento a significativa vulnerabilidade jurídica perante os usuários. Isso porque o proprietário poderá, dentro do prazo correspondente à vida útil do empreendimento, requerer a realização de ensaios e avaliações técnicas específicas para comprovação do desempenho do sistema. Constatada a não conformidade, a construtora ou incorporadora poderá ser responsabilizada, inclusive sob alegação de propaganda enganosa e pleito de indenização por danos materiais e morais.

A NBR 15575 (ABNT, 2025) é estruturada em seis partes, organizadas conforme os principais sistemas que compõem uma edificação habitacional. Cada parte estabelece requisitos e critérios de desempenho fundamentados nas exigências dos usuários, os quais são agrupados em três categorias: segurança, habitabilidade e sustentabilidade (SHIN, 2016).

A categoria segurança compreende os requisitos relativos à segurança estrutural, à segurança contra incêndio e à segurança no uso e na operação. A habitabilidade abrange aspectos relacionados à estanqueidade, ao desempenho térmico, acústico e lumínico, à saúde, higiene e qualidade do ar, à funcionalidade e acessibilidade, bem como ao conforto tátil e antropodinâmico. Por sua vez, a

sustentabilidade contempla requisitos associados à durabilidade, à manutenibilidade e ao impacto ambiental da edificação ao longo de sua vida útil de projeto (CORDOVIL, 2013; CBIC, 2016).

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo analisar a forma de atendimento à Norma de Desempenho, com foco na verificação do cumprimento dos requisitos estabelecidos na Parte 3 - Requisitos para Sistemas de Pisos da NBR 15575 (ABNT, 2021), Edificações Habitacionais, em uma empresa construtora situada no município de Vitória, Estado do Espírito Santo. Para tanto, adotou-se o método de estudo de caso, a fim de examinar os procedimentos técnicos, administrativos e de controle implementados por uma empresa construtora para evidenciar e atestar a conformidade dos sistemas de pisos aos requisitos normativos aplicáveis.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada nesse trabalho baseia-se na análise individual de uma empresa do setor da construção civil e no seu comportamento frente às exigências impostas pela NBR 15575 (ABNT, 2021; 2025). O delineamento desta pesquisa ocorre por meio do estudo de caso, que visa conhecer como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única, procurando descobrir nela o que há de característico e essencial.

A definição da unidade-caso concentrou-se em uma empresa construtora que atendesse os seguintes requisitos: acesso à obra, permitindo a realização de pesquisas e registros fotográficos, fornecendo informações e documentos essenciais à pesquisa, com canal direto e rápido de comunicação com os setores fundamentais de desenvolvimento da obra. A obra também deveria estar com o sistema de pisos já definido e em execução.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizadas principalmente fontes documentais, além de entrevistas, inspeção visual e registro fotográfico. A comprovação de atendimento aos requisitos da norma pôde ser realizada por meio de laudo de fornecedores, relatório de inspeção, relatório de ensaio, declaração em projeto, solução descrita em projeto ou especificação técnica. Assim, a análise documental foi a principal técnica de abordagem de dados utilizada para investigar a conformidade do empreendimento com a parte 3, sistema de pisos, da NBR 15575 (ABNT, 2021).

Durante as visitas técnicas ao empreendimento, foram realizadas entrevistas com o engenheiro de execução de obras e a engenheira de qualidade da empresa. A entrevista foi estruturada por três roteiros: o primeiro roteiro visou identificar características básicas da empresa; o segundo roteiro teve como finalidade a caracterização do sistema de pisos; o terceiro roteiro buscou verificar, pontualmente, os documentos apresentados para comprovar a conformidade com cada um dos critérios definidos na norma.

O check-list apresentado pela CBIC (2016) auxiliou o desenvolvimento do Quadro 1, que apresenta os critérios definidos para o sistema de pisos e respectivos métodos de avaliação definidos pela norma e que serviu de base para a análise documental.

A partir da análise dos documentos disponibilizados pela empresa, das informações obtidas por meio de entrevista e da comparação com o método investigativo apresentado no Quadro 1, foi elaborado um quadro síntese para sistematização dos resultados. Esse quadro contempla os seguintes elementos: o requisito analisado; o respectivo documento comprobatório apresentado pela empresa para evidenciar o atendimento à NBR 15575 (ABNT, 2021; 2025); a origem de emissão do documento, podendo ser do fornecedor, projetista, construtor ou por meio da Ficha de

Avaliação de Desempenho (FAD); bem como a indicação dos casos em que não foi apresentada a documentação necessária para comprovação do atendimento ao requisito.

Quadro 1 - Análise documental.

Critério	Método de avaliação
Durabilidade e manutenibilidade	
Ausência de danos em sistema de pisos de áreas molhadas e molháveis pela presença de umidade	Relatório de ensaio conforme apresentado no Anexo C da NBR 15575 (ABNT, 2021)
Desgaste por abrasão	Para a camada de acabamento especificada em projeto, relatório de atendimento aos requisitos da norma para o material utilizado
Conforto tátil, visual e antropodinâmico	
Planicidade	Relatório de atendimento dos requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2021)
Segurança na circulação e no contato direto	
Desníveis abruptos	Análise do protótipo do sistema de piso que inclua as juntas entre seus componentes e, em áreas comuns relatório de atendimento a NBR 9050: (ABNT, 2020)
Frestas e arestas contundentes	Análise do protótipo do sistema de piso que inclua as juntas entre seus componentes

Fonte: Adaptado de CBIC (2016).

A inspeção visual foi utilizada, como método investigativo diante da necessidade de verificação da execução do sistema de piso da obra em análise. As observações analisadas foram registradas nesta pesquisa por meio de registro fotográfico.

Após a coleta de todos os dados pertinentes à pesquisa, associada às soluções adotadas pela empresa para atendimento e comprovação da conformidade dos requisitos estabelecidos para o sistema de pisos, os resultados foram analisados e confrontados com os métodos descritos na NBR 15575 (ABNT, 2021; 2025). Com base nessa análise, adotou-se a seguinte classificação para avaliação do atendimento aos requisitos:

a) Conformidade comprovada - o requisito foi atendido pela empresa, com evidências documentais consideradas suficientes;
b) Não conformidade comprovada – o requisito não foi atendido pela empresa. A não conformidade pode ser verificada e evidenciada por meio de falha em atender requisitos mínimos, pelo desempenho inferior ao exigido em uso real e pela incompatibilidade entre projeto e execução;
c) Ausência de comprovação documental – apesar de também configurar uma não conformidade, resolveu-se adotar essa classificação para destacar as situações em que não foram encontrados, nos dados coletados em campo, evidências documentais que comprovem o atendimento ao requisito;
d) Impossibilidade de verificação com os dados disponíveis – os dados obtidos foram considerados insuficientes para confirmar o atendimento do requisito analisado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O edifício analisado caracteriza-se como habitacional e é composto por duas torres, de doze pavimentos cada, e doze apartamentos por andar, totalizando 288 apartamentos distribuídos em térreo e onze pavimentos tipo, além de subsolo. Os apartamentos variam entre 1 e 2 quartos e de 36.17m² a 50.27m².

O sistema de pisos do edifício analisado é composto por três camadas padronizadas (camada estrutural, contrapiso e acabamento) e a camada de impermeabilização, quando aplicável. A camada estrutural é composta de concreto armado com 10 centímetros de espessura, seguida da camada de contrapiso, executado com argamassa, com 5 centímetros. Nos banheiros e áreas de serviços, foi utilizada a camada de impermeabilização de acordo com o projeto e, por fim, a camada de acabamento com 1 centímetro. Na camada de acabamento foi utilizado piso cerâmico.

3.1 Durabilidade e manutenibilidade

A manutenibilidade e, principalmente, a durabilidade de uma edificação é um requisito fundamental a ser cumprido em função de seu elevado custo de aquisição. O Quadro 2 apresenta as exigências estabelecidas pela NBR 15575 (ABNT, 2021) para assegurar essas condições em edificações habitacionais, bem como a documentação apresentada pela empresa com o objetivo de comprovar a conformidade com tais critérios.

Quadro 2 – Durabilidade e manutenibilidade.

Requisito	Documento comprobatório	Projetista específico	Fornecedor	Construtor	FAD	Não possui
Resistência à umidade do sistema de pisos de áreas molhadas e molháveis	Relatório de realização de ensaio conforme descrito no Anexo C da NBR 15575 (ABNT, 2021)					X
Resistência ao desgaste em uso	Relatório de realização de ensaio placas cerâmicas para revestimento					X

Fonte: Autores.

Para atender ao primeiro requisito, o sistema de piso deve resistir à umidade, em condições normais de uso, sem apresentar alterações em suas características, que comprometam seu uso. A FAD utilizada para o sistema de piso do empreendimento analisado declara que as placas cerâmicas possuem o potencial para atender a esse critério, porém cabe ao fornecedor atestar o desempenho do produto utilizado. Entretanto, não foi fornecida à empresa construtora o laudo, emitido pelo fornecedor, de resistência à umidade, caracterizando uma falha na prática adotada pelo setor de suprimentos. Nesse sentido, foi observado a ausência de comprovação documental, pelo fato da empresa não possuir evidência comprobatória para atendimento ao referido requisito.

O segundo requisito analisado foi o de resistência ao desgaste em uso, que é a capacidade de resistir aos esforços mecânicos associados às condições normais de uso específicas para cada ambiente. O critério utilizado pela NBR 15575 (ABNT 2021) para avaliar este requisito é o desgaste por abrasão. A empresa não possui o relatório de ensaio de resistência a abrasão, indicando, novamente, falha em sua metodologia para selecionar fornecedores que atestem a conformidade de seus produtos. Para esse requisito, observa-se a ausência de evidência documental.

No catálogo do fornecedor, disponível no site da marca utilizada no empreendimento, encontra-se a informação de que a resistência a abrasão varia de acordo com o produto, mas não expõe resultado para nenhum dos itens presentes no catálogo ou em qualquer outra parte de seu site, não sendo possível verificar os resultados de resistência dos produtos.

Quando a empresa se limita apenas a comprar o material sem definir e aplicar mecanismos sistemáticos de qualificação e avaliação de fornecedores, ela pode comprometer não apenas o controle da qualidade, mas também o desempenho ao longo da vida útil da edificação (BALLOU, 2006; ERIKSSON; PESAMAA, 2013). No caso analisado, a inexistência de laudos técnicos comprobatórios, especialmente para os requisitos de resistência à umidade e à abrasão, evidencia uma lacuna no processo de aquisição e validação de materiais.

3.2 Saúde, higiene e qualidade do ar

Para o sistema de pisos não é definido nenhum requisito específico, assim a avaliação foi feita para os requisitos gerais, parte 1 da NBR 15575 (ABNT, 2025). A norma apresenta três requisitos, sendo eles: proliferação de micro-organismos, poluentes na atmosfera interna à habitação e, por fim poluente no ambiente de garagem. Os requisitos e suas respectivas formas de comprovação de conformidade, estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Saúde, higiene e qualidade do ar.

Requisito	Documento comprobatório	Projetista específico	Fornecedor	Construtor	FAD	Não possui
Proliferação de micro-organismos	Declaração em projeto executivo de acordo com a legislação vigente	X				
Poluentes na atmosfera interna à habitação	Ensaio estabelecido na legislação vigente		X			
Poluentes no ambiente de garagem	Ensaio estabelecido na legislação vigente	X				

Fonte: Autores.

O primeiro requisito, proliferação de micro-organismos, foi definido com o objetivo de propiciar condições de salubridade no interior da edificação, considerando as condições de umidade e temperatura no interior da unidade habitacional. Nesse aspecto, foram observadas algumas ações para o atendimento ao requisito, quais sejam:

- Para o para o sistema de estanqueidade, o projeto mostrou-se aderente a NBR 9575 (ABNT, 2010), assim como a verificação in loco da realização de impermeabilização nas áreas privativas, cozinha, áreas de serviço, banheiro, executada com argamassa polimérica;
- Quanto ao conforto térmico, observaram-se recomendações em projeto para assegurar o desempenho térmico e análise da disponibilidade de luz natural, da ação do ar e dos ventos, seguida da avaliação das temperaturas e precipitações na região do empreendimento.

O atendimento ao requisito de proliferação de micro-organismos não depende de apenas um ensaio ou documento, mas da articulação entre soluções de projeto, especificação de materiais, controle de umidade e condições de uso, conforme a abordagem sistêmica proposta pela NBR 15575 (ABNT, 2025). A dificuldade prática de comprovação, associada ao caráter não prescritivo da norma, tem levado à adoção de estratégias simplificadas pelas construtoras, como é o caso da empresa analisada (FORMOSO et al., 2016; PAGLIARI et al., 2019). Nesse aspecto, tem-se a impossibilidade de verificação com os dados disponíveis, uma vez que não foram encontradas outras evidências, como memoriais descritivos, documentação técnica de materiais, laudos

relacionados ao controle de umidade e manual de uso, operação e manutenção, evidenciando que a edificação não favorece condições propícias ao desenvolvimento biológico, conforme abordagem da norma de desempenho.

Para atender o segundo requisito, a empresa exige dos fornecedores de materiais e sistemas utilizados no empreendimento, relatórios de ensaio que seus produtos e equipamentos não liberem poluentes no ar em ambientes confinados. Foram identificadas, neste trabalho, falhas nas exigências realizadas pela empresa com seus fornecedores, portanto, pode-se afirmar que para esse critério tem-se a ausência de comprovação documental.

No que se refere à dependência de fornecedores, observa-se muitas vezes que as empresas transferem a responsabilidade pela comprovação do desempenho dos sistemas construtivos quase integralmente aos fabricantes dos materiais. Essa prática, embora recorrente no setor da construção civil, apresenta fragilidades, pois limita a capacidade do construtor de verificar, de forma independente, a conformidade dos produtos utilizados (SILVEIRA; OSCAR, 2025).

Para os poluentes provenientes dos gases de escapamento de veículos e equipamentos, que não podem invadir áreas internas da habitação, a empresa optou por executar um outro edifício destinado apenas a estacionamento do empreendimento. Entretanto, apesar da adequação conceitual da solução projetual, verifica-se a ausência de comprovação documental de seu desempenho. A norma estabelece que o atendimento a esse requisito deve ser evidenciado por meio de ensaios estabelecidos na legislação vigente, o que não foi apresentado pela empresa. Dessa forma, não é possível afirmar o atendimento ao requisito, considerado como não conformidade comprovada, por observância da falha em seu atendimento.

3.3 Funcionalidade e acessibilidade

A NBR 15575 (ABNT, 2021) propõe apenas um requisito para o sistema de pisos, com o intuito de garantir a mobilidade e segurança de pessoas com deficiência física ou pessoas com mobilidade reduzida (pmr). O Quadro 4 indica o requisito e o respectivo documento de comprovação de conformidade.

Quadro 4 – Funcionalidade e acessibilidade.

Requisito	Documento comprobatório	Projetista específico	Fornecedor	Construtor	FAD	Não possui
Sistema de pisos para pessoas portadoras de deficiência física ou pessoas com mobilidade reduzida (pmr)	Atendimento a NBR 9050 (ABNT, 2020), acessibilidade	X				

Fonte: Autores.

De acordo com a informação obtida por meio da entrevista realizada com a engenheira responsável pelo setor de qualidade da empresa, o empreendimento foi projetado de acordo com as especificações da NBR 9050 (ABNT, 2020), para a acessibilidade. A Figura 1 apresenta trecho do projeto arquitetônico onde é possível observar informações a respeito da acessibilidade do empreendimento.

Figura 1 – Notas de projeto – Acessibilidade.

NOTAS:

-AS ESQUADRIAS DAS ÁREAS COMUNS, ACESSÍVEIS A P.C.D., DEVERÃO TER COMANDOS E CONTROLES DE ABERTURA DE PORTAS ENTRE 0.80m E 1.10m; E DE JANELAS ENTRE 0.60m E 1.20m;

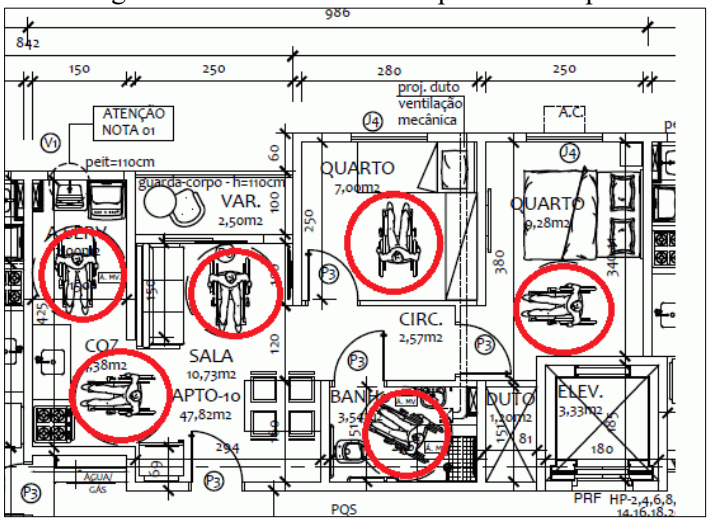
-CADA FOLHA OU MÓDULO DE JANELA DEVE PODER SER OPERADO COM UM ÚNICO MOVIMENTO E UTILIZANDO APENAS UMA DAS MÃOS;

-O PROJETO EXECUTIVO DO EMPREENDIMENTO DEVERÁ CONTEMPLAR A SINALIZAÇÃO VISUAL, SONORA E TÁTIL DAS ÁREAS COMUNS, ADEQUADA A P.C.D., COM SINAIS DE LOCALIZAÇÃO, ADVERTÊNCIA, INSTRUÇÃO, INFORMAÇÃO, DIREÇÃO E DE EMERGÊNCIA, EM CONFORMIDADE COM A SEÇÃO 5 DA NORMA ABNT NBR 9050:2015;

Fonte: Adaptado da empresa.

Além do atendimento à NBR 9050 (ABNT, 2020) nas áreas de uso comum, o requisito imposto na NBR 15575 (2021), determina que o sistema de pisos da área privativa deve estar adaptado à moradia de pessoas portadoras de deficiência física ou pmr. A Figura 2 elucida trecho do projeto arquitetônico das áreas privativas, onde é possível observar a conformidade do projeto com o requisito estabelecido. Verificou-se também que a empresa possui uma metodologia bem definida, através das Fichas de Inspeção de Serviços (FIS), para garantir que a execução esteja de acordo com o projeto.

Figura 2 – Acessibilidade em pavimento tipo.



Fonte: Adaptado da empresa.

No entanto, à luz da NBR 9050 (ABNT, 2020), o atendimento não deve ser avaliado limitando-se ao projeto, mas na verificação objetiva de critérios dimensionais e funcionais, tais como larguras mínimas de circulação, áreas de manobra, inclinações de rampas, especificação de pisos e ausência de desníveis que comprometam a acessibilidade. Nesse sentido, a simples indicação em projeto, sem a apresentação de detalhamentos técnicos completos ou memoriais descritivos específicos, limita a robustez da comprovação.

Quanto à execução, verificou-se que a empresa utiliza Fichas de Inspeção de Serviços como mecanismo de controle, o que representa um ponto positivo na garantia da conformidade com o projeto. Contudo, não foram evidenciados registros de verificação específica dos parâmetros de acessibilidade em campo, o que seria recomendável para assegurar o atendimento integral à norma.

Dessa forma, embora existam indícios de conformidade a nível de projeto e controle executivo, a ausência de documentação complementar detalhada e de evidências objetivas de verificação dos

critérios normativos limita a validação plena do atendimento ao requisito. Ainda assim, considerando os elementos disponíveis, pode-se dizer que seu atendimento foi impossibilitado de verificação com os dados disponíveis. De acordo com Pagliari et al. (2019) e Cotta (2017), a validação do desempenho não deve se restringir à fase de projeto, sendo necessária a verificação sistemática durante a execução do serviço.

3.4 Conforto tátil e antropodinâmico

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021), o valor que os usuários atribuem a uma habitação não se limita apenas à análise funcional, sendo influenciado também pela percepção estética dos usuários. Como essa percepção é subjetiva, a norma define algumas características que podem ser controladas para o sistema de pisos, como a regularidade e homogeneidade das superfícies da camada de acabamento. O Quadro 5 apresenta o requisito exigido pela norma e o respectivo documento comprobatório utilizado com o intuito de assegurar a conformidade do conforto tátil, visual e antropodinâmico.

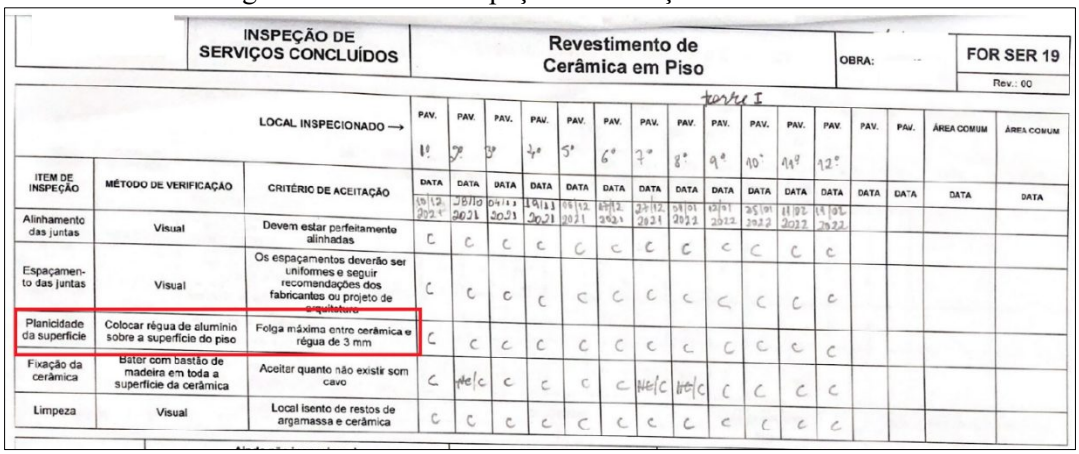
Quadro 5 – Conforto tátil, visual e antropodinâmico.

Requisito	Documento comprobatório	Projetista específico	Fornecedor	Construtor	FAD	Não possui
Homogeneidade quanto à planicidade da camada de acabamento do sistema de piso	Relatório de inspeção, com a verificação da não existência de irregularidades superiores a 3 mm na camada de acabamento			X		

Fonte: Autores.

A empresa utiliza a FIS para documentar a inspeção realizada e atestar sua conformidade. A Figura 3 apresenta a FIS utilizada para avaliar a planicidade dos revestimentos cerâmicos da camada de acabamento do piso.

Figura 3 – Ficha de Inspeção de Serviço – Planicidade.



Fonte: Adaptado da empresa.

Através da FIS e com base no critério de aceitação, a empresa controla a execução do revestimento cerâmico de todo empreendimento e em casos de não conformidade com o requisito, são tomadas medidas, como refazer o assentamento da camada de acabamento. Com base nessa análise, e considerando que a empresa realiza inspeção rigorosa da execução do serviço, pode-se afirmar que

a empresa está em conformidade com o requisito definido para assegurar o conforto tátil, visual e antropodinâmico do empreendimento.

A utilização de Fichas de Inspeção de Serviço como instrumento de controle está alinhada às práticas de gestão da qualidade na construção civil, que enfatizam a importância da verificação sistemática da execução e da adoção de critérios de aceitação e ações corretivas (SANTOS et al., 2022). Além disso, a literatura destaca que a regularidade superficial dos revestimentos está diretamente relacionada à qualidade da execução, sendo fundamental para o desempenho e a percepção do usuário (BRITO, 2016; ZANELATTO, 2012). Nesse contexto, a inspeção em campo constitui método adequado para verificação e conformidade com o requisito, em relação a abordagem da NBR 15575.

3.5 Segurança na circulação e no contato direto

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021), o risco de acidentes e quedas pode ser mitigado com a correta especificação do sistema de piso, o uso de calçados apropriados, sinalização adequada, uso de corrimãos, manutenção preventiva e uso de produtos de limpeza adequados. Os requisitos definidos na norma, para assegurar a segurança no uso e operação, e a análise da documentação apresentada pela empresa, a fim de atestar sua conformidade para com os requisitos, estão dispostos no quadro 6.

O requisito de segurança na circulação foi definido, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2021), para evitar lesões provocadas por quedas decorrentes de irregularidades localizadas. Áreas privativas com desníveis abruptos superiores a 5 mm devem possuir sinalização que garanta sua visibilidade, e para áreas comuns deve ser atendida a NBR 9050 (ABNT, 2020), referente à acessibilidade. Além disto, o sistema de pisos não pode apresentar abertura máxima de juntas entre componentes do piso maior que 4 mm.

Quadro 6 – Segurança no uso e na operação.

Requisito	Documento comprobatório	Projetista específico	Forne cedor	Cons trutor	FAD	Não possui
Segurança na circulação	Projeto de acordo com NBR 9050 (ABNT, 2020) Acessibilidade e inclusão de juntas entre os componentes do sistema de pisos	X				
Segurança no contato direto	Inclusão de juntas entre os componentes do sistema de pisos			X		

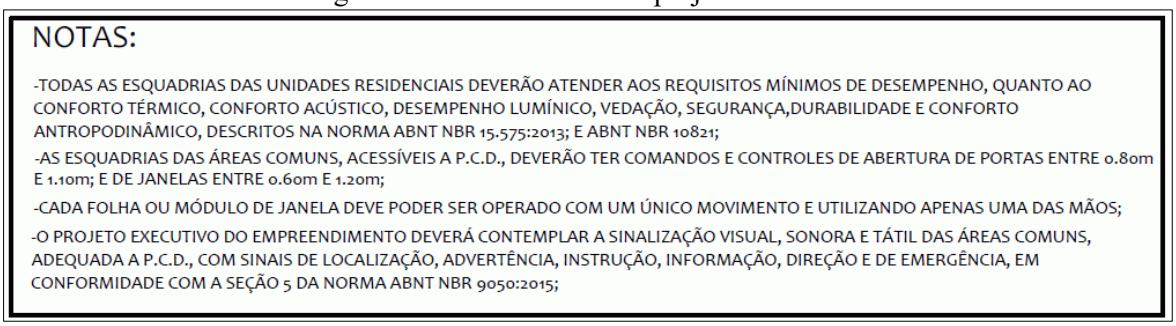
Fonte: Autores.

O empreendimento conta com o projeto de acessibilidade de acordo com a NBR 9050 (ABNT, 2020), o que garante sua conformidade, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2021), para áreas comuns no que diz respeito aos desníveis abruptos. A Figura 4 apresenta um trecho das notas do projeto executivo onde estão dispostas medidas adotadas visando assegurar a acessibilidade no empreendimento.

A empresa realiza a inspeção de serviços a fim de verificar qualquer execução fora do que foi previsto em projeto. Essas inspeções foram registradas nas FISs (Ficha de Inspeção de Serviço), que atestam a uniformidade e ausência de falhas e buracos no contrapiso e elucidam a verificação da planicidade da camada de acabamento. Desta forma, a empresa utiliza medidas para assegurar a correta execução do projeto, em conformidade com o requisito de segurança na circulação das

áreas comuns e privativas. Entretanto, observa-se que a documentação apresentada não evidencia de forma explícita a verificação de todos os critérios normativos, como a medição das aberturas de juntas (≤ 4 mm), a identificação e sinalização de desníveis superiores a 5 mm nas áreas privativas. Embora existam indícios de atendimento, a comprovação não abrange integralmente todos os parâmetros exigidos pela norma, podendo ser considerado nesse caso a impossibilidade de verificação com os dados disponíveis, pois apenas as fichas de inspeção apresentadas pela empresa não são suficientes para confirmar o atendimento ao requisito.

Figura 4 – Acessibilidade no projeto executivo.


NOTAS:

-TODAS AS ESQUADRIAS DAS UNIDADES RESIDENCIAIS DEVERÃO ATENDER AOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO, QUANTO AO CONFORTO TÉRMICO, CONFORTO ACÚSTICO, DESEMPENHO LUMÍNICO, VEDAÇÃO, SEGURANÇA,DURABILIDADE E CONFORTO ANTROPODINÂMICO, DESCRITOS NA NORMA ABNT NBR 15.575:2013; E ABNT NBR 10821;

-AS ESQUADRIAS DAS ÁREAS COMUNS, ACESSÍVEIS A P.C.D., DEVERÃO TER COMANDOS E CONTROLES DE ABERTURA DE PORTAS ENTRE 0.80m E 1.10m; E DE JANELAS ENTRE 0.60m E 1.20m;

-CADA FOLHA OU MÓDULO DE JANELA DEVE PODER SER OPERADO COM UM ÚNICO MOVIMENTO E UTILIZANDO APENAS UMA DAS MÃOS;

-O PROJETO EXECUTIVO DO EMPREENDIMENTO DEVERÁ CONTEMPLAR A SINALIZAÇÃO VISUAL, SONORA E TÁTIL DAS ÁREAS COMUNS, ADEQUADA A P.C.D., COM SINAIS DE LOCALIZAÇÃO, ADVERTÊNCIA, INSTRUÇÃO, INFORMAÇÃO, DIREÇÃO E DE EMERGÊNCIA, EM CONFORMIDADE COM A SEÇÃO 5 DA NORMA ABNT NBR 9050:2015;

Fonte: Adaptado da empresa.

Para a segurança no contato direto, a superfície do sistema de piso não pode apresentar arestas contundentes e nem liberar fragmentos perfurantes em condições normais de uso e manutenção. Para atestar a conformidade com este requisito a empresa documenta, em sua Ficha de Inspeção de Serviço, que o critério de aceitação para as juntas da camada de acabamento é definido quando elas se apresentarem lisas, sem arestas. Entretanto, assim como no requisito anterior, a análise baseia-se predominantemente em inspeções visuais e critérios qualitativos, não sendo evidenciada a existência de procedimentos padronizados ou registros mais detalhados que assegurem a repetibilidade e a rastreabilidade das verificações realizadas. Dessa forma, conclui-se que a empresa não apresenta evidências documentais suficientes para garantir o atendimento aos requisitos de segurança no uso e operação, especialmente no que se refere às práticas de controle executivo.

A segurança no uso e operação das edificações deve ser analisada de forma sistêmica, considerando não apenas os critérios normativos, mas também o comportamento real dos usuários e as condições de execução. Estudos recentes indicam que a qualidade dos espaços de circulação influencia diretamente a segurança e a usabilidade das edificações, sendo essencial a integração entre projeto e desempenho em uso (MAMATI; KURUŞCU, 2025). Além disso, a literatura destaca que o desempenho de sistemas construtivos, como os pisos, depende significativamente da qualidade da execução e da verificação em campo, podendo divergir das previsões de projeto (HELENE; MEDEIROS, 2009). Nesse contexto, abordagens recentes reforçam a necessidade de avaliação integrada da segurança, considerando fatores de risco e comportamento dos usuários (EILAKI et al., 2026).

3.6 Incumbências dos intervenientes

A empresa utiliza duas principais práticas com o objetivo de facilitar a comprovação de atendimento aos requisitos definidos pela NBR 15575 (ABNT, 2021; 2025). Como observado em entrevistas e análise documental, o setor de suprimentos da empresa negocia com fornecedores que atestem a conformidade de seus produtos com a norma analisada.

A empresa adotou o procedimento de exigir de seus fornecedores, antes da compra, os comprovantes de atendimento aos requisitos exigidos em norma para os materiais comercializados. Além disso, cabe ao engenheiro de projetos garantir em suas especificações técnicas quanto à qualidade dos materiais a serem utilizados para cada sistema específico e a definição da vida útil de projeto de cada sistema que compõe o empreendimento.

A empresa realiza para todos os seus empreendimentos, o relatório da análise de riscos associados ao empreendimento. Nele constam informações solicitadas pela NBR 15575 (ABNT, 2021; 2025). Ainda na análise de risco, são realizados levantamentos quanto aos aspectos naturais e o conforto térmico e lumínico, a caracterização acústica da localização e por fim os riscos naturais e sanitários.

Os projetistas específicos definem em projeto o valor da vida útil dos sistemas por ele projetados. A figura 5 apresenta as declarações de vida útil de projeto (VUP) do empreendimento analisado.

Figura 5 – Definição VUP.

PARA GARANTIR QUE A VIDA ÚTIL DO EMPREENDIMENTO SEJA ATINGIDA, O USUÁRIO FINAL É RESPONSÁVEL PELA GESTÃO DA MANUTENÇÃO DO EDIFÍCIO E SEUS SISTEMAS. A DURABILIDADE DE UM PRODUTO SE EXTINGUE QUANDO ELE DEIXA DE CUMPRIR ESSAS FUNÇÕES.	
DECLARAÇÃO DE VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP)	
SISTEMA	VUP MÍNIMA EM ANOS
ESTRUTURA	>ou=50
PISOS INTERNOS	>ou=13
VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA	>ou=40
VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA	>ou=20
COBERTURA	>ou=20
HIDROSSANITÁRIO	>ou=20
OS PROJETISTAS DE CADA DISCIPLINA QUE ENVOLVEM O EMPREENDIMENTO SÃO RESPONSÁVEIS POR CALCULAR, ESPECIFICAR E DIMENSIONAR OS COMPONENTES E MATERIAIS PARA QUE OS RESPECTIVOS SISTEMAS ATINJAM A VUP MÍNIMA EXIGIDA PELA NBR.	
PROJETISTAS E CONSTRUTOR SÃO RESPONSÁVEIS PELOS VALORES TEÓRICOS DE VUP. NÃO OBSTANTE, A VIDA UTIL ATINGIDA DEPENDE DE FATORES FORA DE SEU ALVANCE, TAIS COMO AS RESPONSABILIDADES DO USUÁRIO E FATORES NATURAIS. DESSA FORMA, A VIDA ÚTIL ATINGIDA SERÁ UMA COMPOSIÇÃO ENTRE A VUP E OS DEMAIS FATORES.	

Fonte: Adaptado da empresa.

A construtora é responsável pela elaboração do manual de uso, operação e manutenção do empreendimento e elabora o manual das áreas comuns de acordo com a NBR 14037 (ABNT, 2024). Existe um cuidado por parte da construtora sobre o controle de execução de procedimentos e na sua fiscalização. Para cada serviço a ser executado ela elabora o manual de instrução de serviços cujo conteúdo é passado ao colaborador que executará o serviço de forma que ele possa entender com clareza quais os procedimentos a serem adotados durante a execução do procedimento.

Dessa forma, embora a empresa apresente uma estrutura formal de atribuição de responsabilidades compatível com o modelo da NBR 15575, a literatura evidencia que o atendimento efetivo aos requisitos de desempenho depende não apenas da definição de incumbências, mas principalmente da integração entre agentes, da confiabilidade das informações fornecidas e da existência de mecanismos independentes de verificação ao longo do processo construtivo (BIGOLIN et al., 2014; NICOLAI et al., 2020; GONÇALVES et al., 2023).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou o atendimento aos requisitos de desempenho de sistemas de pisos de um edifício habitacional, com base na NBR 15575, considerando aspectos de durabilidade, saúde e qualidade do ar, acessibilidade, conforto, segurança de uso e incumbências dos intervenientes. A empresa analisada utiliza três práticas principais com o objetivo de facilitar a comprovação da

conformidade de seu empreendimento com a NBR 15575. A primeira, consiste na prática exercida pelo setor de suprimentos de negociar com fornecedores que atestem a conformidade de seus produtos com os requisitos de desempenho estabelecidos na norma. Entretanto, muitas vezes esta prática não foi observada na solicitação de laudos técnicos, e consequentemente não foi atendida ou se mostrou insuficiente.

A segunda estratégia consiste no desenvolvimento das FIS para todos os serviços executados no empreendimento. A FIS é utilizada para controlar e inspecionar os serviços executados, possibilitando a detecção de não conformidades geradas por erros de execução. Além disso, é também utilizada como documento de comprovação de atendimento aos requisitos verificados por meio da inspeção realizada pelo construtor. A terceira prática é dimensionar o sistema de pisos de forma que este possa ser representando, devido suas características, por uma FAD.

Nos requisitos de durabilidade e manutenibilidade, identificaram-se ausência de laudos técnicos e consequentemente insuficiência de comprovação do desempenho dos materiais, sobretudo quanto à resistência à umidade e ao desgaste. Em saúde, higiene e qualidade do ar, verificou-se dependência de declarações de fornecedores e soluções de projeto, com limitações na comprovação objetiva de desempenho, o que reduz a confiabilidade da validação dos requisitos.

Quanto à acessibilidade e funcionalidade, observou-se conformidade predominantemente em nível de projeto, com aderência à NBR 9050, porém, não foi possível verificar o atendimento desse requisito com os dados disponíveis na verificação em campo de parâmetros dimensionais e funcionais. Já no conforto tátil, visual e antropodinâmico, constatou-se melhor desempenho relativo, sustentado pelo uso sistemático de inspeções de serviço e controle de qualidade durante a execução.

No que se refere à segurança na circulação e no contato direto, verificou-se adoção de soluções compatíveis com as exigências normativas e realização de inspeções em obra; entretanto, a ausência de registros completos de verificação de todos os parâmetros normativos indica atendimento parcial ou com ressalvas, especialmente quanto à rastreabilidade das evidências. Por fim, na análise das incumbências dos intervenientes, constatou-se estrutura organizacional formalmente alinhada ao modelo de desempenho da NBR 15575, com definição clara de responsabilidades entre projeto, suprimentos e execução. Entretanto, a literatura aponta que a efetividade desse modelo depende da integração entre agentes, da confiabilidade das informações e da existência de mecanismos independentes de verificação ao longo do ciclo de vida da edificação.

Dessa forma, conclui-se que os resultados evidenciam um cenário predominantemente desfavorável quanto ao atendimento a norma de desempenho, pois entre os requisitos avaliados: quatro apresentaram ausência de comprovação documental, o que inviabiliza a validação do atendimento por falta de evidências técnicas; em três casos foi identificada impossibilidade de verificação com os dados disponíveis, em função da insuficiência de informações para análise conclusiva; e apenas um requisito demonstrou conformidade efetivamente comprovada com a NBR 15575.

Esse conjunto de resultados evidencia fragilidades significativas no sistema de gestão da qualidade e na rastreabilidade das evidências de desempenho adotadas pela empresa, especialmente no que se refere à dependência de documentação de fornecedores e à insuficiência de mecanismos sistemáticos de verificação em campo. Tais limitações comprometem a confiabilidade da

comprovação do atendimento normativo e reforçam a necessidade de aprimoramento dos processos de qualificação de materiais, controle executivo e validação técnica ao longo do ciclo de vida da edificação, de modo a garantir maior aderência ao modelo de desempenho estabelecido pela norma.

REFERÊNCIAS

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 – **Edificações habitacionais – Desempenho (Parte 1: Requisitos gerais)**. Rio de Janeiro, 2025.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 – **Edificações habitacionais – Desempenho (Parte 3: Requisitos para Sistemas de pisos)**. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050 – **Acessibilidade e edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14037 - **Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações — requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos**. Rio de Janeiro, 2024.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575 – **Impermeabilização – seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2010.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BIGOLIN, M.; PACHECO, L. S.; SILVA FILHO, L. C. P. Inspeção predial e norma de desempenho: agentes intervenientes. *In: Congresso Brasileiro Do Concreto (CBC)*, 56., 2014, **Anais** [...] São Paulo. São Paulo: IBRACON, 2014.

BRITO, A. C. **Gestão e controle de qualidade nos procedimentos referentes a revestimento argamassado**. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 44 f. 2016.

CARVALHO, A. R.; et al. NBR 15575, **Adequação ambiental e avaliação de desempenho**. Mix Sustentável, v. 6, n. 3, p. 55–70, 18 jun. 2020.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Análise dos critérios de atendimento à Norma de Desempenho ABNT NBR 15575**. Norma De Desempenho, 2016, p. 76.

CORDOVIL, L. A. B. L. **Estudo da ABNT NBR 15575 – "Edificações habitacionais – Desempenho" e possíveis impactos no setor da construção civil na cidade do Rio de Janeiro**. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 62 f. 2013.

CUNHA, M. L., VASCONCELOS, J. O., HOLANDA, R. P., MENEZES, C. C. M., SOARES, R. C., BECO, L. M. B. DE C., VALE, M. DO S., PEREIRA, M. DE S. **Implementação do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) em obras da construção civil**. Revista Delos, 17(62), 2024.

DUARTE, P. B. M., BRANCO, R. B. C., GOMES, K. N. A. do E. S. **Gestão da qualidade na construção civil: uma análise do programa Brasileiro de qualidade e produtividade no habitat (PBQP-H) e da ISO 9001**. Brazilian Journal of Development, 6(3), 14817–14827, 2020.

EILAKI, N. K.; NORDVIK, T.; AHMER, C. et al. **Enhancing fire safety of buildings' occupants: an integrated fire risk concept into reliability-based evacuation design optimization method focused on at-risk groups**. Fire Technology, v. 62, 2026.

ERIKSSON, P. E.; PESÄMAA, O. **Buyer-supplier integration in project-based industries**. Journal of Business & Industrial Marketing, v. 28, n. 1, p. 29–40, 2013.

FORMOSO, C. T.; BERNARDES, M. M. S; OLIVEIRA, K. A.; ISATTO, E. L. **Planejamento e controle da produção em empresas de construção**. Porto Alegre: UFRGS, 2016.

GONÇALVES, G. B. F. R.; ALVES, M. R. S.; BRANDSTETTER, M. C. G. O.; ULHÔA, C. G. Atendimento aos itens da norma de desempenho com foco nos segmentos dos incumbentes: um estudo de caso múltiplo. In: *Simpósio Brasileiro De Gestão E Economia Da Construção* (*SIBRAGEC*), 13., 2023, Aracaju. **Anais[...]** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

HELENE, P.; MEDEIROS, M. H. F. **Manual de reabilitação de edificações: diagnóstico, técnicas e materiais**. São Paulo: PINI, 2009.

KERN, A. P.; SILVA, A.; KAZMIERCZAK, C. S. K. **O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013)**. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 9, n. 1, p. 89, 31 ago. 2014.

MAMATI, N.; KURUŞCU, A. O. **Evaluation of vertical circulation efficiency of core designs in high-rise building**. GRID - Architecture Planning and Design Journal, v. 8, n. 2, p. 640–670, 2025.

NICOLAI, P.; SOUZA, F.; CARDOSO, F. Cadeia de Responsabilidades de Norma de Desempenho. In: *Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído*, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais[...]** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

PAGLIARI, C. S.; AMARO, L. C.; LANTELME, E. M. V.; PILZ, S. E.; COSTELLA, M. F. **Dificuldades na implantação da norma de desempenho em construtoras de médio e pequeno porte no oeste de Santa Catarina**. Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 8, n. 2, p. 97-118, 2019.

SANTOS, G. S.; MAROTTA, L. I. M.; LOPES, D. P. **Avaliação de qualidade utilizando os métodos de folha de verificação de serviço e PDCA em uma obra residencial**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, São Paulo, v. 8, n. 3, mar. 2022.

SCHUCH, C. H.; STRADIOTO, J. P.; OLIVEIRA, C. C. **Incentivando a Produtividade e a Qualidade na Construção Civil: um debate de programas**. Desenvolvimento em Questão, v. 18, n. 51, p. 317–330, 2019.

SHIN, H B. **Norma de Desempenho NBR 15575: estudo das práticas adotadas por construtoras e dos impactos ocorridos no mercado da construção civil**. Projeto de Graduação

(Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 83 f. 2016.

SILVEIRA, V. N.; OSCAR, L. H. C. **Gestão da cadeia de suprimentos na construção civil: desafios, estratégias e direcionamentos para melhoria de eficiência**. Revista Gestão & Gerenciamento, Rio de Janeiro, v. 1, n. 37, 2025.

SOUZA, J. L. P.; KERN, A. P.; TUTIKIAN, B. F. **Análise quantiqualitativa da norma de desempenho (NBR 15.575/2013) e principais desafios da implantação do nível superior em edificação residencial de multipavimentos**. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 13, n. 1, p. 127, 1 fev. 2018.

ZANELATTO, K. C. **Avaliação da influência da técnica de execução no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 123 f. 2012.

CAPÍTULO 55 · Parte IV · Qualidade e normatização
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/az0fev13
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/tgfk6808

ANÁLISE DO DESLOCAMENTO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS DE EDIFICAÇÕES DE MÚTIPLOS PAVIMENTOS: AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA CONJUNTA DA EXPANSÃO POR UMIDADE DA CERÂMICA (EPU) E DA QUALIDADE DA ARGAMASSA COLANTE (ACIII) NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA ÀTRAÇÃO.

Eduardo Da Silva Wintz[1]*, Bruna Corsini Da Silva[2]; Ingrid Ferreira Da Silva[3]; Pedro Matiazzi Da Silva[4]
*Autor de contato: Eduswintz@gmail.com

[1] Engenharia Civil, Centro Universitario Unifasipe, Sinop, Brasil
[2] [1] Engenharia Civil, Centro Universitario Unifasipe, Sinop, Brasil
[3] [1] Engenharia Civil, Centro Universitario Unifasipe, Sinop, Brasil
[4] [1] Engenharia Civil, Centro Universitario Unifasipe, Sinop, Brasil

RESUMO

O desempenho dos revestimentos cerâmicos em fachadas depende da interação entre a Expansão por Umidade (EPU) das placas e o comportamento das argamassas colantes. A EPU é um fenômeno irreversível que gera tensões capazes de comprometer a aderência do sistema. Argamassas com maior teor de polímeros, como a ACIII, apresentam maior flexibilidade e melhor acomodação das deformações, enquanto a ACII tende a apresentar falhas adesivas em condições de alta umidade e variações térmicas. Ensaios indicam que cerâmicas com elevada EPU reduzem a resistência de aderência, porém a ACIII mantém melhor redistribuição de tensões. Casos reais mostram que o uso de argamassa inadequada associado à alta EPU provoca manifestações como fissuras, estufamento e desplacamento. Assim, o controle da EPU e a escolha correta da argamassa são essenciais para garantir durabilidade e segurança das fachadas cerâmicas.
Palavras chaves: Revestimento cerâmico de fachada; Expansão por Umidade (EPU); Argamassa colante; Resistência de aderência; Durabilidade.

ABSTRACT

The performance of ceramic façade claddings depends on the interaction between the Moisture Expansion (ME) of ceramic tiles and the behavior of adhesive mortars. ME is an irreversible phenomenon that generates stresses capable of compromising system adhesion. Mortars with higher polymer content, such as ACIII, present greater flexibility and better deformation accommodation, while ACII mortars tend to show adhesive failures under high humidity and thermal variations. Tests indicate that ceramics with high ME reduce bond strength; however, ACIII mortars provide better stress redistribution. Real cases show that inadequate mortar combined with high ME leads to pathologies such

as cracking, bulging, and tile detachment. Therefore, controlling ME and selecting the appropriate adhesive mortar are essential to ensure durability and safety in ceramic façade systems.
Keywords: Ceramic façade cladding; Moisture Expansion (ME); Adhesive mortar; Bond strength; Durability.

1. INTRODUÇÃO

As manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos, como fissuras, desplacamento e perda de aderência, representam um dos principais desafios na manutenção da durabilidade e segurança das fachadas. Essas falhas geralmente estão associadas a mecanismos físicos e higrotérmicos que afetam tanto as placas cerâmicas quanto a argamassa colante responsável por fixá-las. Entre esses mecanismos, destaca-se a Expansão por Umidade (EPU), fenômeno irreversível capaz de gerar tensões progressivas que comprometem a integridade do sistema, principalmente quando associadas à falta de flexibilidade da argamassa. Assim, compreender a interação entre esses materiais e as tensões envolvidas torna-se fundamental para prevenir manifestações que, além de comprometerem a estética, provocam riscos à segurança e custos elevados de manutenção.

Os problemas decorrentes da EPU, especialmente quando combinados com o uso inadequado de argamassas colantes, têm sido amplamente documentados na literatura técnica, que aponta a ruptura adesiva como um dos modos de falha mais recorrentes em fachadas. A utilização de argamassas de baixo teor polimérico, como ACII, em ambientes externos é um dos principais fatores que aceleram o processo de deterioração, pois esses materiais não possuem deformabilidade suficiente para acomodar os esforços gerados pela umidade e pelas variações térmicas. Quando isso ocorre, tensões de cisalhamento e tração se acumulam no sistema, ocasionando estufamento, deslocamentos e, eventualmente, o descolamento total de placas cerâmicas.

Diante desse cenário, o objetivo deste estudo é analisar como as manifestações de fissuras, desplacamento e falta de aderência se relacionam com a Expansão por Umidade das placas cerâmicas e com o desempenho das diferentes classes de argamassas colantes, especialmente a ACIII, buscando compreender os mecanismos de ruptura envolvidos. A justificativa para esta investigação está na alta incidência de quedas de revestimentos, nos riscos associados a essas ocorrências e na necessidade de reforçar critérios técnicos que assegurem maior durabilidade e desempenho aos sistemas de revestimento. Assim, a análise apresentada contribui para orientar decisões de projeto, execução e manutenção de fachadas, reduzindo falhas e garantindo maior segurança às edificações.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Argamassas Inorgânicas Colantes e Suas Propriedades

As argamassas colantes são misturas produzidas a partir de cimento Portland, agregados minerais finos e aditivos poliméricos que conferem as propriedades necessárias ao assentamento cerâmico (CINCOTTO, 1995). Entre elas, a Argamassa Colante ACIII definida pela ABNT NBR 14081-1:2012 é a de maior desempenho, recomendada para fachadas e áreas sujeitas a variações severas de temperatura e umidade.

2.1.1. Principais propriedades

No que se refere à aderência, a NBR 14081-1 (ABNT, 2012) estabelece que a argamassa do tipo ACIII deve apresentar desempenho superior às argamassas dos tipos ACI e ACII, atingindo resistência mínima de 1,0 MPa após 28 dias de cura normal e também após cura em imersão. Esse elevado nível de aderência torna esse tipo de argamassa especialmente indicado para aplicações mais exigentes.

Além disso, destaca-se o tempo em aberto, que corresponde à capacidade da argamassa de manter sua aderência dentro do período recomendado de aplicação, sendo um fator essencial em revestimentos de fachadas expostas à ação do vento e à radiação solar (SOUZA; RIPPER, 1998).

Outro aspecto relevante é a deformabilidade da argamassa. A incorporação de polímeros, como o EVA e os éteres de celulose, contribui para o aumento da retenção de água e melhoria da trabalhabilidade, permitindo que o material absorva deformações tanto do substrato quanto da placa cerâmica, o que favorece o desempenho do sistema como um todo (CINCOTTO; JOHN, 1996).

2.2. Expansão por Umidade da Cerâmica (EPU)

A Expansão por Umidade (EPU), também chamada de dilatação higroscópica, é o aumento irreversível do volume da peça cerâmica causado pela reidratação de fases vítreas remanescentes do processo de queima (HENRIQUE, 2008; ROSCOE, 2008). Esse processo começa logo após a cerâmica sair do forno e é intensificado pela umidade presente no ambiente e na argamassa de assentamento.

A expansão por umidade influencia diretamente o surgimento de patologias, pois provoca compressão nas placas cerâmicas e gera tensões de cisalhamento e tração na argamassa, podendo resultar em descolamento quando as juntas não são capazes de absorver essas deformações (TELLES, 2017). No que diz respeito aos aspectos normativos, a ABNT NBR 13818:1997 estabelece o método de ensaio para determinação da expansão por umidade (EPU) e, embora não defina um límite máximo, estudos indicam que valores superiores a 0,6 mm/m aumentam significativamente o risco de falhas no revestimento (ROSCOE, 2008).

2.3. Manifestações Patológicas e Mecanismos de Ruptura

O descolamento de revestimentos cerâmicos em fachadas é uma patologia comum e geralmente está associado à interação entre EPU, baixa flexibilidade da argamassa, falhas de execução e ausência de juntas adequadas (SOUZA; RIPPER, 1998). Estudos como os de Telles (2017) e Roscoe (2008) demonstram que a EPU elevada, combinada com argamassas pouco deformáveis, reduz a resistência de aderência (σ_a) e favorece rupturas adesivas na interface.

2.3.1. Fatores que contribuem para o descolamento

Dentre os principais fatores associados ao descolamento em revestimentos cerâmicos, destacam-se:

- Alta EPU.
- Tempo em aberto excedido.
- Baixa cobertura de argamassa no tardoz.
- Movimentações estruturais do edifício.
- Falta/dimensionamento incorreto de juntas

2.3.2. Modos de ruptura

Segundo a ABNT NBR 14084 (ABNT, 2012), o ensaio de arrancamento permite identificar o tipo de falha no sistema de revestimento. Nesse contexto, a ruptura coesiva, ocorrendo na argamassa ou na própria cerâmica, é considerada a situação mais desejável, pois indica boa aderência entre os materiais. Por outro lado, a ruptura adesiva, verificada na interface entre os elementos, evidencia baixa aderência ou a presença de tensões elevadas, que podem estar associadas à expansão por umidade (EPU) ou à retração do sistema.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo utiliza uma metodologia de pesquisa bibliográfica e comparativa, baseada na análise de dados publicados em artigos, dissertações, teses e relatórios técnicos que investigaram a relação entre a Expansão por Umidade (EPU) das placas cerâmicas e o desempenho de argamassas colantes especialmente a classe ACIII. A comparação fundamenta-se principalmente em resultados de ensaios de arrancamento (pull-off test), metodologia amplamente adotada para avaliar a resistência de aderência em sistemas de revestimentos colados.

4. SELEÇÃO DE DADOS E PARÂMETROS DE ESTUDO

Para a definição dos dados e parâmetros adotados neste estudo, foram considerados os seguintes critérios metodológicos:

- Foram selecionados estudos que atenderam aos seguintes critérios metodológicos:
- Uso de argamassas colantes do tipo ACIII (e, em alguns casos, ACII para comparação), conforme a NBR 14081-1 (ABNT, 2012).
- Avaliação de placas cerâmicas com diferentes níveis de Expansão por Umidade (EPU), incluindo valores reduzidos e elevados, conforme medição definida pela NBR 13818 (ABNT, 1997).
- Aplicação do ensaio de Resistência de Aderência à Tração (σ_a) conforme:
- NBR 14084 (ensaio de arrancamento), e
- NBR 13755 (execução e inspeção de revestimentos cerâmicos).

- Os estudos analisados consideraram condições de cura padrão (28 dias) e condições aceleradas como imersão em água ou ciclos higrotérmicos para simular o comportamento real das fachadas (SOUZA; RIPPER, 1998; THOMAZ, 1989).

4.1. Ensaios de Arrancamento (Pull-off Test)

O ensaio de arrancamento é o método mais utilizado e confiável para determinar a capacidade de aderência entre placa cerâmica, argamassa colante e substrato. Esse procedimento é normatizado pela ABNT NBR 14084:2012 e amplamente descrito em publicações técnicas (SOUZA; RIPPER, 1998; CINCOTTO, 1995).
O teste consiste em:

- Fixar um disco metálico (pastilha) sobre a superfície cerâmica já assentada, utilizando adesivo epóxi.
- Após a cura, aplica-se uma força de tração perpendicular ao plano do revestimento até ocorrer a ruptura (ABNT, 2012).
- Esse método permite avaliar não apenas a resistência de aderência, mas também identificar o modo de ruptura, fornecendo importantes informações sobre a integridade do sistema.

4.2. Cálculo

A resistência de aderência à tração (σ_a, em MPa) é calculada pela relação entre
força máxima aplicada na ruptura ($F_máx$, em N), e área do disco metálico (S, em mm²):

$$\sigma a = \frac{Fmáx}{s} \quad (1)$$

4.3. Análise Comparativa

Nos estudos revisados, foram comparados:

- Cerâmicas com baixa EPU × cerâmicas com alta EPU (ROSCOE, 2008);
- Argamassa ACIII (alto teor polimérico) × ACII (teor médio polimérico) (TELLES, 2017; CINCOTTO, 1995).

Os resultados dos ensaios mostram diferenças significativas tanto nos valores de σ_a quanto nos modos de ruptura adesiva ou coesiva evidenciando o impacto direto da EPU e da flexibilidade da argamassa no desempenho final do sistema.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados levantados na literatura técnica demonstram que a EPU (Expansão por Umidade) é um dos principais agentes de geração de tensões no revestimento cerâmico. Também confirmam que a argamassa colante ACIII, devido ao maior teor de polímeros redispersíveis, apresenta desempenho superior na redistribuição dessas tensões, reduzindo a probabilidade de falhas por ruptura adesiva.

5.1. Caso 1 - Influência da EPU e do Teor de Polímero na Resistência de Aderência

Com base nos estudos de Telles (2017), Cincotto (1995) e Cincotto e John (1996), foi realizada uma análise comparativa da influência da expansão por umidade (EPU) e do teor de polímero na resistência de aderência das argamassas colantes, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1. No estudo conduzido por Telles (2017), foram executados ensaios de arrancamento (pull-off) em condições aceleradas de umidade, considerando argamassas com diferentes teores de polímero EVA. Para fins de comparação, foram formuladas composições equivalentes às classes ACII, com baixo teor de polímero, e ACIII, com elevado teor de polímero.

Tabela 1 - Exemplo de casos

Tipo de Cerâmica	Argamassa Colante	σ_a média (MPa) – Condição Acelerada	Modo de Ruptura Predominante
Baixa EPU	ACIII (alto EVA)	1,40	Coesiva na Argamassa (C.AC)
Alta EPU	ACIII (alto EVA)	1,15	Coesiva na Argamassa (C.AC)
Alta EPU	ACII (baixo EVA)	0,75	Adesiva na Interface (A.I)

Os dados mostram que:

- A EPU elevada reduz a resistência de aderência, diminuindo a σ_a de 1,40 MPa para 1,15 MPa mesmo em ACIII.
- Apesar dessa queda, a ACIII mantém desempenho acima do limite normativo (≥ 1,0 MPa – NBR 14084).
- A ruptura coesiva indica que a falha ocorreu no interior da argamassa e não por falta de aderência mostrando que a ACIII conseguiu absorver as tensões geradas pela expansão da placa.
- Já com a ACII (menos polimérica e mais rígida), observou-se σ_a inferior ao mínimo (0,75 MPa) e rupturas adesivas, caracterizando falha do sistema.
- Esses resultados estão de acordo com **CINCOTTO (1995; 1996),** que demonstrou experimentalmente que o aumento do teor de EVA melhora a flexibilidade, a coesão interna e a capacidade de acomodação das tensões.

5.2. Caso 2 - Patologia Real e Papel Preventivo da ACIII em Fachadas

A literatura sobre patologia das construções, conforme discutido por Roscoe (2008), Henrique (2008), Souza e Ripper (1998) e Sabbatini (1998), registra diversos casos de desplacamento de revestimentos cerâmicos em fachadas, nos quais a causa principal está associada à combinação entre o uso de placas cerâmicas em conformidade com a NBR 13818, porém com elevados valores de expansão por umidade (EPU), e a utilização inadequada de argamassas colantes, especialmente do tipo ACII, em condições de elevada exposição ambiental.

Um exemplo representativo é apresentado por Roscoe (2008), ao relatar o caso de um edifício residencial de 14 pavimentos localizado em Belo Horizonte, no qual foram observados

desprendimentos de placas cerâmicas após aproximadamente cinco anos de uso. A investigação realizada incluiu a execução de ensaios de EPU, cujos resultados indicaram valores próximos aos limites superiores associados ao material, bem como a verificação do tipo de argamassa colante empregada, identificada como ACII, considerada inadequada para fachadas expostas. Adicionalmente, ensaios de arrancamento evidenciaram a ocorrência de rupturas adesivas na interface entre a argamassa e o emboço.

A análise desse caso permitiu concluir que a expansão higroscópica acumulada das placas cerâmicas, associada à limitada capacidade de deformação da argamassa do tipo ACII, promoveu o desenvolvimento de tensões progressivas de cisalhamento, resultando inicialmente em estufamento e, posteriormente, no desplacamento do revestimento.

Estudos de patologia das construções, como os desenvolvidos por Souza e Ripper (1998) e Henrique (2008), apontam de forma consistente que a utilização de argamassas do tipo ACIII desempenha um papel fundamental no desempenho dos revestimentos cerâmicos em fachadas, uma vez que atuam como uma zona de acomodação deformável, capaz de absorver parte das tensões geradas pela expansão por umidade (EPU) e pelas variações térmicas. Nesse contexto, argamassas com elevado teor de polímeros, como o EVA, apresentam comportamento viscoelástico, o que contribui para uma maior capacidade de redistribuição de tensões ao longo do sistema. Esse mecanismo reduz significativamente o risco de ocorrência de rupturas adesivas durante a vida útil do revestimento. Além disso, Sabbatini (1998) ressalta que, em aplicações em fachadas, o correto dimensionamento do sistema especialmente no que se refere à escolha da argamassa colante exerce influência direta na durabilidade e na segurança do revestimento cerâmico.

6. CONCLUSÃO

A análise das interações entre a Expansão por Umidade das cerâmicas e o comportamento das argamassas colantes revela um enredo claro: a durabilidade de uma fachada não é obra do acaso, mas o resultado direto da compatibilidade entre materiais que precisam atuar como protagonistas de um mesmo cenário. A EPU, silenciosa e implacável, avança ao longo da vida útil da edificação, impondo tensões que testam diariamente a integridade do revestimento. Diante dessa força inevitável, apenas argamassas dotadas de verdadeira capacidade de deformação como a ACIII assumem o papel de heroínas, absorvendo impactos, dissipando tensões e garantindo que o sistema permaneça unido, mesmo sob as condições mais adversas. Onde a flexibilidade existe, o revestimento resiste; onde falta, surgem as manifestações que ameaçam a segurança e a estética das fachadas.

Assim, a grande lição deste estudo é simples, mas poderosa: a escolha correta da argamassa colante não é apenas uma decisão técnica é um ato de preservação, segurança e responsabilidade com a vida útil da edificação. Em um cenário onde a EPU jamais deixa de atuar, a argamassa ACIII se consolida como o elemento capaz de transformar um possível colapso em um desempenho sólido e duradouro. Que este conhecimento sirva como guia para projetos mais conscientes, execuções mais precisas e edificações mais seguras.

REFERÊNCIAS

CINCOTTO, M. A. **ARGAMASSAS COLANTES: COMPOSIÇÃO, PROPRIEDADES E COMPORTAMENTO.** São Paulo, 1995.

CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M. **COMPORTAMENTO DA ARGAMASSA COLANTE MODIFICADA COM POLÍMEROS.** São Paulo, 1996.

HENRIQUE, R. **EXPANSÃO POR UMIDADE EM PLACAS CERÂMICAS: INFLUÊNCIA E CONSEQUÊNCIAS EM REVESTIMENTOS.** Dissertação. 2008.

ROSCOE, R. **ESTUDOS SOBRE A EXPANSÃO POR UMIDADE E PATOLOGIAS ASSOCIADAS EM FACHADAS REVESTIDAS COM CERÂMICA.** São Paulo, 2008.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS.** PINI, São Paulo, 1998.

SABBATINI, F. H. **TECNOLOGIA DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA E CERÂMICOS.** EPUSP, São Paulo, 1998.

TELLES, C. **INFLUÊNCIA DA EXPANSÃO POR UMIDADE E DO TEOR DE POLÍMEROS NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS**. Tese. 2017.

THOMAZ, E. **FISSURAS EM EDIFICAÇÕES: CAUSAS, PREVENÇÃO E RECUPERAÇÃO**. IPT, São Paulo, 1989

CAPÍTULO 56 · Parte IV · Qualidade e normatização
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/45qphk95
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/qtchme65

EDUCAÇÃO E ENSINO DA PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES NA FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO CIVIL

TEACHING CONSTRUCTION PATHOLOGY IN CIVIL ENGINEERING EDUCATION

Karine Marques Salvioni
Autor de contato: eng.karinems@gmail.com

[1] Marques Engenharia e Arquitetura Ltda., Gaspar/SC, Brasil

RESUMO

A Patologia das Construções desempenha papel fundamental na prevenção de falhas construtivas, na redução de custos corretivos e na garantia do desempenho e da segurança das edificações. O presente estudo analisa a importância do ensino sistemático da Patologia das Construções na formação do engenheiro civil, especialmente daqueles que atuam na execução de obras. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, com abordagem quali-quantitativa e caráter exploratório-descritivo, sendo fundamentada em revisão bibliográfica, análise de literatura técnica e avaliação de três obras residenciais unifamiliares executadas entre os anos de 2021 e 2024. Foram analisadas manifestações patológicas relacionadas à fissuração, infiltrações, falhas de revestimento e não conformidades executivas, buscando correlacionar sua ocorrência à deficiência de formação técnica aplicada durante o processo construtivo. Os resultados demonstraram predominância de falhas associadas à execução da obra, ausência de controle tecnológico e deficiência preventiva durante as etapas construtivas, evidenciando impactos técnicos, econômicos e jurídicos relevantes. Conclui-se que a incorporação estruturada do ensino da Patologia das Construções nos cursos de Engenharia Civil contribui significativamente para a formação de profissionais mais preparados para atuar preventivamente, reduzindo retrabalhos, manifestações patológicas e custos decorrentes de intervenções corretivas.
Palavras-chave: Patologia das Construções. Engenharia Civil. Ensino. Manifestações Patológicas. Qualidade Construtiva.

ABSTRACT

Construction Pathology plays a fundamental role in preventing construction failures, reducing corrective costs, and ensuring the performance and safety of buildings. This study analyzes the importance of systematic teaching of Construction Pathology in the education of civil engineers, especially those involved in construction execution. The research is characterized as applied, with a qualitative-quantitative approach and exploratory-descriptive nature, based on literature review, technical references, and evaluation of three single-family residential buildings constructed between 2021 and 2024. Pathological manifestations related to cracking, infiltration, coating failures, and execution nonconformities were analyzed in order to correlate their occurrence with deficiencies in technical education applied during the construction process. The results demonstrated a predominance of failures associated with construction execution, lack of technological control, and insufficient preventive practices during construction stages, highlighting relevant technical, economic, and legal impacts. It is concluded that the structured incorporation of Construction Pathology teaching into Civil Engineering courses significantly contributes to the education of professionals better

prepared to act preventively, reducing rework, pathological manifestations, and costs arising from corrective interventions.
Keywords: Construction Pathology. Civil Engineering. Education. Pathological Manifestations. Construction Quality.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais relevantes para o desenvolvimento econômico e social, sendo responsável por grande parte da infraestrutura urbana e habitacional. No entanto, falhas construtivas, uso inadequado de materiais, deficiências de projeto, execução incorreta e ausência de manutenção adequada resultam em manifestações patológicas que comprometem o desempenho, a durabilidade e a segurança das edificações.

Sob essa perspectiva, a Patologia das Construções surge como uma área essencial da Engenharia Civil, pois permite compreender as degradações das edificações e propor soluções técnicas eficazes. Apesar disso, o ensino desse tema ainda é, em muitos cursos, tratado de forma superficial ou como conteúdo complementar, o que contribui para a formação de profissionais sem preparação para diagnosticar e prevenir falhas construtivas.

Observa-se que o ensino desse tema torna-se elemento essencial na capacitação de engenheiros atuantes na execução de obras e em atividades correlatas, contribuindo para a redução de riscos técnicos, jurídicos e financeiros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Patologia das construções: Conceitos e Importância

A Patologia das Construções é o ramo da Engenharia Civil responsável pelo estudo das manifestações patológicas que afetam as edificações, abrangendo a identificação das causas, mecanismos de ocorrência, evolução dos danos e proposição de medidas corretivas e preventivas. De acordo com HELENE (1992), a patologia está diretamente relacionada às falhas ocorridas nas fases de projeto, execução, uso e manutenção das edificações, sendo essencial para a compreensão do desempenho das estruturas ao longo do tempo.

As manifestações patológicas podem ocorrer sob diversas formas, como fissuras, infiltrações, corrosão de armaduras e destacamento de revestimentos, comprometendo não apenas a estética, mas também a segurança e a durabilidade das construções. Segundo SOUZA (2008), a maioria desses problemas decorre de erros evitáveis, relacionados à deficiência técnica dos profissionais envolvidos e à ausência de controle adequado durante o processo construtivo.

Adicionalmente, o estudo da Patologia das Construções torna-se fundamental para a prevenção de falhas, pois permite identificar as causas raiz dos problemas e adotar soluções técnicas compatíveis com as normas vigentes, reduzindo custos com retrabalhos e intervenções corretivas (HELENE, 1992).

2.2 Ensino da Patologia das Construções na Formação do Engenheiro Civil

A formação do engenheiro civil deve contemplar conhecimentos que permitam ao profissional compreender não apenas como construir, mas também como diagnosticar falhas e evitar a repetição de erros construtivos. No entanto, conforme destaca Vargas (2010), o ensino da Engenharia Civil

historicamente prioriza o dimensionamento e a execução, relegando a segundo plano conteúdos relacionados ao desempenho e à durabilidade das edificações.

A ausência de um ensino sistemático da Patologia das Construções contribui para a formação de profissionais pouco preparados para identificar manifestações patológicas em campo, o que impacta diretamente na qualidade das obras. Para SOUZA (2008), a deficiência na formação técnica reflete-se no aumento de falhas recorrentes, retrabalhos e conflitos técnicos e jurídicos, especialmente em obras de pequeno e médio porte.

A abordagem tradicional, excessivamente teórica, dificulta a compreensão das anomalias, que são, em sua maioria, observadas em situações rotineiras e reais. A ausência de estudos de caso, visitas técnicas e análises de edificações existentes compromete o desenvolvimento da capacidade diagnóstica dos estudantes.

Além disso, observa-se a rápida evolução dos materiais e sistemas construtivos, considerando que as normas técnicas exigem atualização da didática do assunto, o que apresenta um desafio para instituições de ensino e docentes.

Dessa forma, o ensino da Patologia das Construções deve ser incorporado de maneira estruturada nos cursos de Engenharia Civil, integrando teoria e prática, a fim de capacitar o futuro engenheiro a atuar de forma preventiva e tecnicamente fundamentada.

2.3 Metodologias de Ensino aplicadas à Patologia das Construções

Nesse cenário, para um ensino eficiente, é fundamental adotar metodologias ativas que integrem teoria e prática. O uso de estudos de casos reais, análises de laudos técnicos, inspeções prediais simuladas e atividades em campo permite que os alunos desenvolvam habilidades de observação, diagnóstico e tomada de decisão.

Recursos como softwares de modelagem, conjuntos de registros técnicos relacionados a falhas construtivas e registros fotográficos contribuem para a análise estatística e identificação de padrões recorrentes na construção civil, favorecendo um aprendizado mais dinâmico e alinhado às demandas do mercado profissional.

Salienta-se que, é relevante considerar a interdisciplinaridade, ou seja, a integração dos conhecimentos de materiais da construção civil, estruturas, fundações, desempenho das edificações e segurança do trabalho, favorecendo uma formação consistente.

2.4 Desafios para a Educação em Patologia das Construções

Entre os principais desafios para o ensino da Patologia das Construções, estão a limitação da carga horária dos cursos de graduação, a carência de materiais didáticos atualizados e a dificuldade de acesso às edificações para inspeções prediais.

Nesse contexto, evidencia-se a necessidade de valorização dessa área nos currículos acadêmicos, com a inclusão de disciplinas específicas e obrigatórias, bem como o incentivo à pesquisa científica e à extensão universitária voltada à inspeção e recuperação de edificações.

Destaca-se, ainda, a importância da formação continuada dos profissionais por meio de cursos de especialização e capacitação técnica, essenciais para suprir lacunas da formação inicial e atender às exigências do mercado.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, com abordagem quali-quantitativa e caráter exploratório-descritivo, com o objetivo de analisar a relação entre a formação técnica em Patologia das Construções e a incidência de manifestações patológicas em edificações residenciais.

Inicialmente, foi realizada revisão bibliográfica sistematizada, contemplando artigos científicos publicados entre 2015 e 2025, normas técnicas brasileiras e internacionais, além de literatura clássica consolidada na área. A seleção dos estudos considerou critérios de relevância temática, atualidade e aderência ao escopo da pesquisa.

Na etapa empírica, foram analisadas três obras residenciais unifamiliares de dois pavimentos, localizadas na região sul do Brasil, executadas entre os anos de 2021 e 2024, nas quais a autora atuou diretamente como responsável técnica ou assistente técnica. A seleção das obras considerou os seguintes critérios: tipologia construtiva semelhante, padrão médio de acabamento e disponibilidade de registros técnicos e fotográficos.

Foram levantadas e classificadas as principais manifestações patológicas observadas nas edificações, incluindo fissuração, infiltrações, falhas de revestimento e não conformidades executivas. Para cada obra, foram analisadas as possíveis causas associadas, considerando falhas de projeto, execução, materiais e ausência de controle tecnológico.

Os dados coletados foram organizados em planilhas eletrônicas, sendo aplicado tratamento estatístico descritivo, com cálculo de frequência relativa, incidência por tipo de manifestação e estimativa de impacto econômico associado às intervenções corretivas.

Adicionalmente, foi realizada análise comparativa entre as obras, buscando identificar padrões recorrentes e correlações entre a ocorrência das manifestações patológicas e a deficiência de conhecimento técnico aplicado durante a execução.

Os resultados foram apresentados por meio de gráficos analíticos elaborados em software Excel, permitindo a visualização clara das relações entre variáveis analisadas.

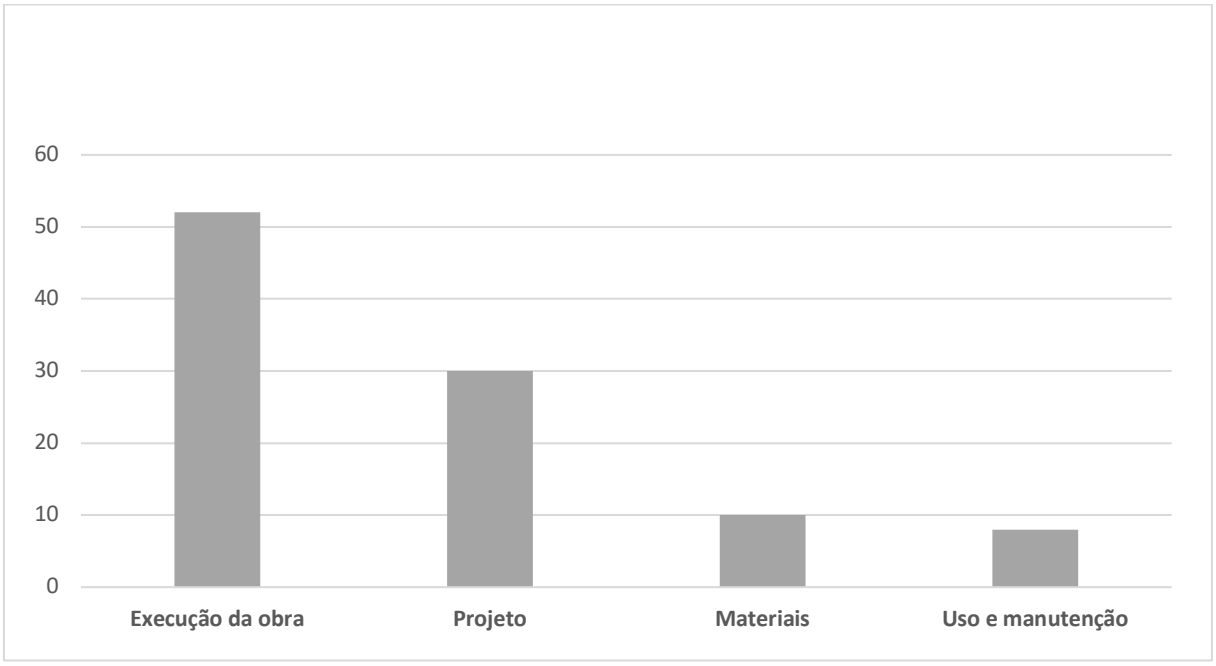
Por fim, os dados empíricos foram confrontados com a literatura técnica, visando validar os achados e reforçar a importância do ensino sistemático da Patologia das Construções como ferramenta de prevenção de falhas construtivas.

Os dados das edificações foram anonimizados para preservação da confidencialidade das partes envolvidas.

4. RESULTADOS

4.1 Origem das Manifestações Patológicas nas Edificações

Figura 01- Origem das manifestações patológicas nas edificações



Fonte: Freire (2010, P. 08);

A análise dos dados apresentados nos gráficos evidencia uma correlação direta entre a deficiência na formação acadêmica em Patologia das Construções e o aumento da incidência de manifestações patológicas em obras recém-executadas. Observa-se que a maior parte das falhas relatadas está associada a erros de execução, ausência de controle tecnológico e desconhecimento dos mecanismos de degradação dos materiais.

Os resultados indicam que mais de 35% das manifestações patológicas poderiam ter sido evitadas com medidas preventivas ainda na fase de projeto ou durante o acompanhamento técnico da execução. Esse dado reforça a necessidade de fortalecimento da disciplina de Patologia das Construções na graduação em Engenharia Civil, evidenciando que a formação inicial desempenha papel determinante na qualidade das futuras intervenções profissionais.

De acordo com Thomaz (1989), as falhas construtivas raramente são eventos isolados, mas sim consequências de decisões técnicas inadequadas acumuladas ao longo do processo construtivo. Essa perspectiva corrobora os resultados gráficos apresentados, que indicam concentração significativa de manifestações patológicas relacionadas à execução e à ausência de planejamento preventivo.

Além disso, conforme argumenta Carmona Filho (2013), aproximadamente 70% das manifestações patológicas poderiam ser evitadas com medidas preventivas implementadas ainda na fase de projeto. Esse dado está em consonância com os percentuais demonstrados neste estudo, reforçando a relevância do ensino preventivo em Patologia das Construções.

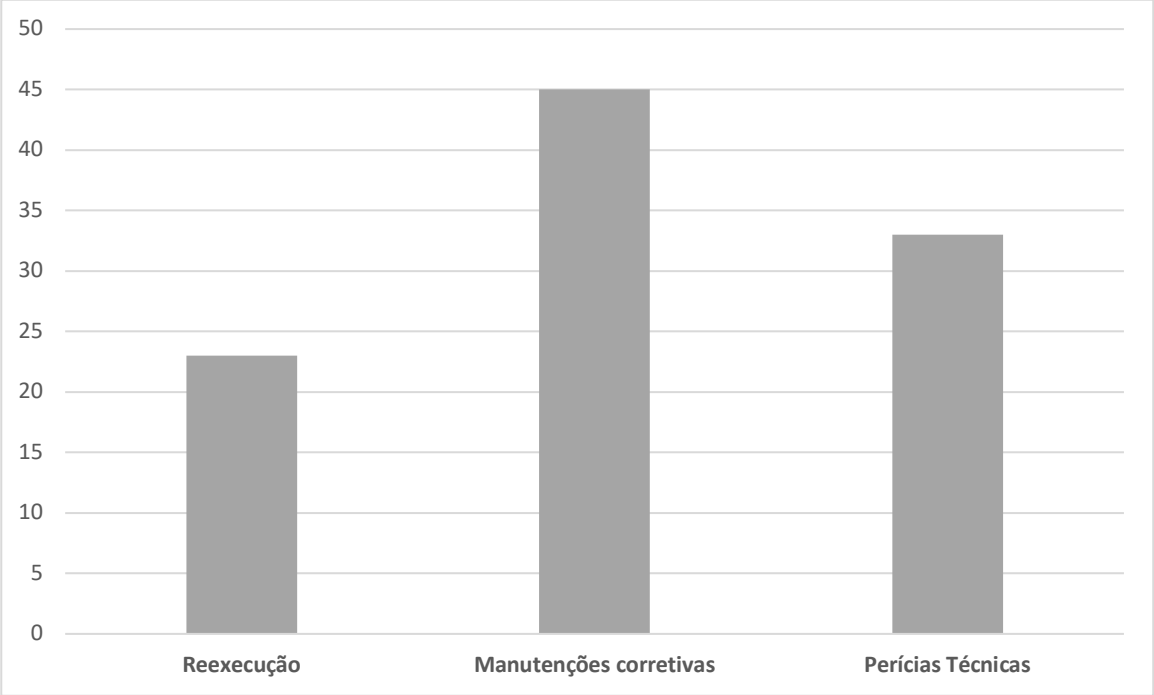
Observa-se, a partir da análise comparativa entre os dados empíricos e a literatura técnica, que há convergência significativa quanto à predominância de falhas relacionadas à execução. Nas obras analisadas, aproximadamente 58% das manifestações patológicas tiveram origem em não conformidades executivas, percentual compatível com estudos recentes que indicam a execução como principal fator gerador de anomalias construtivas. Tal resultado evidencia não apenas falhas operacionais, mas lacunas na formação técnica dos profissionais envolvidos, reforçando a necessidade de abordagem mais aplicada no ensino da Patologia das Construções.

4.2 Impacto econômico das manifestações patológicas de construção nas obras

Entende-se que, obras com elevado índice de manifestações patológicas podem apresentar acréscimos de até 30% no custo final, impactando diretamente a rentabilidade e a credibilidade profissional do engenheiro responsável pela execução.

No gráfico elaborado, foram avaliadas três obras residenciais unifamiliares de dois pavimentos, sendo denominadas obras A, B e C, todas com responsável técnico não identificado por questão de ética profissional.

Figura 02 – Aumento médio de custos em obras com manifestações patológicas



Fonte: Autora (2025);

Conforme apresentado na Figura 02, o impacto econômico das manifestações patológicas em edificações residenciais unifamiliares evidencia-se de forma significativa quando analisados os custos associados à reexecução de serviços, às manutenções corretivas e às perícias técnicas. Os dados demonstram que as manutenções corretivas representam o maior percentual médio de acréscimo no custo final da obra, seguidas pelas perícias técnicas e, por fim, pela reexecução de serviços.

Segundo Thomaz (1989), a maior parte das manifestações patológicas construtivas decorre de falhas previsíveis, relacionadas à execução inadequada, à ausência de controle tecnológico e à falta de compatibilização entre projetos. Essas falhas, quando não tratadas de forma preventiva, tendem a evoluir ao longo do tempo, exigindo intervenções corretivas sucessivas, o que justifica o elevado impacto financeiro observado na categoria de manutenções corretivas.

No gráfico analisado, a reexecução de serviços apresenta percentual médio inferior quando comparada às demais categorias. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que, em

muitos casos, os defeitos iniciais não são imediatamente identificados ou corrigidos, resultando na postergação da intervenção e no agravamento das manifestações patológicas. Conforme destaca Carmona Filho (2013), a correção tardia de falhas construtivas tende a demandar soluções mais complexas e onerosas, elevando os custos indiretos da obra.

As perícias técnicas, por sua vez, apresentam impacto econômico relevante, refletindo não apenas o custo da contratação de engenheiros especializados para avaliações técnicas e elaboração de laudos, mas também os custos associados a processos judiciais, assistências técnicas e eventuais condenações. De acordo com Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (2020), o aumento da judicialização na construção civil está diretamente relacionado à reincidência de falhas técnicas e à ausência de registros e controles adequados durante a execução da obra.

Para a elaboração do gráfico, foram avaliadas três obras residenciais unifamiliares de dois pavimentos, denominadas obras A, B e C, todas com responsável técnico formalmente designado. A escolha desse modelo de edificação justifica-se pela sua ampla representatividade no cenário da construção civil brasileira, especialmente no setor habitacional de pequeno e médio porte.

Segundo dados do IBGE (2022), edificações residenciais unifamiliares correspondem a parcela significativa das obras executadas no país, sendo também aquelas com maior incidência de manifestações patológicas decorrentes de falhas executivas e ausência de fiscalização contínua.

A análise comparativa dessas três obras permitiu estimar um custo médio associado às manifestações patológicas construtivas, considerando situações recorrentes observadas em campo, como a necessidade de refazer serviços executados inadequadamente, a realização de manutenções corretivas após a entrega da obra e a contratação de perícias técnicas para apuração de responsabilidades. Conforme afirmado por BAUER (2015), esses custos adicionais impactam diretamente a rentabilidade do empreendimento, além de gerar implicações técnicas e jurídicas relevantes.

A análise quantitativa evidenciou que o custo médio adicional decorrente das manifestações patológicas nas obras analisadas variou entre 18% e 27% do custo inicial, com maior concentração em intervenções corretivas tardias. Esse comportamento confirma a literatura recente, que aponta o aumento exponencial dos custos quando não há atuação preventiva. A correlação entre falhas técnicas e impacto econômico reforça a necessidade de formação profissional orientada à prevenção, e não apenas à correção de problemas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve como objetivo analisar a importância do ensino sistemático da Patologia das Construções na formação de engenheiros civis, especialmente daqueles que atuam na execução de obras, evidenciando sua influência na prevenção de falhas construtivas, na redução de custos e na melhoria da qualidade e segurança das edificações.

A partir da revisão bibliográfica e da análise de dados estatísticos, foi possível constatar que uma parcela significativa das manifestações patológicas observadas nas edificações tem origem em falhas previsíveis, relacionadas principalmente à execução inadequada, à ausência de controle de projetos e à deficiência na formação técnica. Os resultados apresentados demonstraram que tais falhas poderiam ser minimizadas ou evitadas por meio de uma formação acadêmica mais sólida e orientada à prevenção.

No que se refere ao impacto econômico, os resultados demonstraram que obras com elevado índice de manifestações patológicas podem apresentar acréscimos expressivos no custo final, especialmente em função das manutenções corretivas e das perícias técnicas. A avaliação de obras residenciais unifamiliares de pequeno porte permitiu evidenciar que, além dos custos diretos de reexecução de serviços, há impactos financeiros adicionais relacionados à contratação de profissionais especializados, à judicialização de conflitos e à perda de credibilidade técnica do engenheiro responsável.

Dessa forma, verifica-se que a Patologia das Construções não deve ser tratada apenas como uma área corretiva, mas como um instrumento estratégico de prevenção, capaz de contribuir significativamente para a durabilidade, o desempenho e a sustentabilidade das edificações. A incorporação efetiva desse conteúdo nos cursos de Engenharia Civil, de maneira estruturada e integrada com disciplinas correlatas, mostra-se essencial para a formação de profissionais mais críticos, responsáveis e tecnicamente preparados.

Conclui-se, portanto, que o fortalecimento do ensino da Patologia das Construções representa um avanço necessário para a melhoria da qualidade construtiva, a redução de retrabalhos, a mitigação de riscos técnicos e jurídicos e o desenvolvimento de uma cultura preventiva na construção civil. Recomenda-se, ainda, que futuras pesquisas aprofundem a análise do impacto do ensino prático e das metodologias ativas na redução de manifestações patológicas, bem como a avaliação de diferentes tipologias de edificações e contextos regionais.

6. AGRADECIMENTOS

A autora agradece à família pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho, bem como aos profissionais e instituições que contribuíram para sua formação técnica e acadêmica.

7. REFERÊNCIAS

BAUER, José Carlos C. **Patologia das construções**. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CARVALHO, M. T.; HELENE, P. **Durabilidade das estruturas de concreto: avanços recentes**. Revista IBRACON, v. 13, n. 4, 2020.

CARMONA FILHO, Antônio. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2013.

Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. **Relatório anual de fiscalização**. Brasília: CONFEA, 2020.

FREIRE, W. J. **Patologia das construções: origem das manifestações patológicas**. São Paulo, 2010.

GARCEZ DE SOUZA, Afonso R. **Patologia das construções: causas e prevenção**. São Paulo: PINI, 2008.

HELENE, Jorge. **Patologia das estruturas**. São Paulo: PINI, 1992.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores da construção civil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

KOMLENIC, A.; ZANINI, M. **Building pathology and durability: modern approaches**. Engineering Failure Analysis, v. 118, 2020.

SILVA, M. A.; FERREIRA, L. R. **Analysis of pathological manifestations in residential buildings**. Journal of Building Engineering, v. 32, 2020.

SOUZA, R.; MELHADO, S. B. **Qualidade na construção civil e prevenção de falhas**. Ambiente Construído, v. 19, n. 3, 2019.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: PINI, 1989.

VARGAS, Milton. **História da técnica e da tecnologia no Brasil**. São Paulo: Editora UNESP, 2010.

ZHANG, Y.; WANG, J. **Construction defects and their impacts on building performance**. Construction and Building Materials, v. 256, 2020.

CAPÍTULO 57 · Parte IV · Qualidade e normatização
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/j1sj6x93
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/45c91t18

ANÁLISE DE IMPACTOS DE REFORMAS EM EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO DO FECHAMENTO DE VARANDAS EM VIDRO COM BASE NA NBR 16280

Marcus Vinícius Fernandes Grossi[1]*
*grossiengenhariadiagnostica@gmail.com

[1] Grossi Engenharia Diagnóstica, Sorocaba, Brasil.

RESUMO

A crescente demanda por reformas em edificações, especialmente em condomínios, tem revelado uma lacuna crítica entre a intenção de reforma e a avaliação de sua conformidade. Muitas alterações, aparentemente simples, podem comprometer severamente o desempenho e a segurança da edificação. Este artigo propõe uma metodologia para análise de impactos de reformas, fundamentada nos requisitos da NBR 16280 e nos critérios de desempenho da NBR 15575. Utiliza-se como estudo de caso a análise dos impactos decorrentes do fechamento em vidro de sacadas em um edifício residencial. A metodologia é consolidada em um checklist, que não apenas abrange os requisitos de gestão da NBR 16280, mas também incorpora critérios de desempenho, durabilidade, aspectos legais e regimentos condominiais, com exemplos de não-conformidades. O estudo de caso ilustra como a aplicação do método identifica riscos críticos, como a inadequação à compartimentação vertical de incêndio e a sobrecarga estrutural não prevista. Conclui-se que a adoção de uma metodologia sistemática é fundamental para garantir a segurança e o desempenho das edificações, servindo como uma ferramenta essencial para projetistas, construtores, síndicos e peritos.
Palavras-chave: patologia das construções; reforma em edificações; análise de impacto; NBR 16280 (ABNT, 2020); desempenho da edificação.

ABSTRACT

The growing demand for building renovations, especially in condominiums, has revealed a critical gap between the intention for improvement and the systematic assessment of its impacts. Many seemingly simple alterations can severely compromise the building's performance and safety. This paper proposes a methodology for analyzing the impacts of renovations, based on the requirements of NBR 16280 and the performance criteria of NBR 15575. It uses the impact analysis of glass balcony enclosures in a residential building as a case study—a common yet complex renovation. The methodology is consolidated into an expanded checklist, which not only covers the management requirements of NBR 16280 but also incorporates performance, durability, legal, and condominium-related criteria, with examples of non-compliance. The case study illustrates how applying the method identifies critical risks, such as non-compliance with vertical fire

compartmentation and unforeseen structural overloads. It is concluded that adopting a systematic methodology is fundamental to ensure the safety and performance of buildings, serving as an essential tool for designers, builders, condominium managers, and experts.
Keywords: building pathology; building renovation; impact analysis; NBR 16280; building performance.

1. INTRODUÇÃO

A reforma em edificações é um processo contínuo e necessário para a adaptação dos espaços às novas necessidades dos usuários, para a modernização de instalações ou para a correção de manifestações patológicas. No entanto, a cultura da reforma no Brasil ainda é marcada por muita informalidade e pela ausência de uma análise técnica aprofundada sobre as consequências das alterações propostas. A NBR 16280 (ABNT, 2020), que estabelece os requisitos para o sistema de gestão de reformas, surgiu como um marco para mitigar os riscos associados a essa prática, exigindo um plano formal de reforma e a nomeação de um responsável técnico.

Apesar do avanço normativo, a simples conformidade com os aspectos gerenciais da NBR 16280 não é suficiente. É preciso ir além e avaliar, de forma sistemática, o impacto da reforma nos múltiplos sistemas da edificação, à luz dos requisitos de desempenho estabelecidos pela NBR 15575 partes 1 a 6. Uma alteração em um sistema pode gerar efeitos adversos e imprevistos em outros, comprometendo a segurança, habitabilidade ou durabilidade.

Este artigo aborda essa lacuna, propondo uma metodologia estruturada para a análise de impactos de reformas. O objetivo é fornecer uma ferramenta que auxilie os profissionais a identificar e avaliar os riscos potenciais antes da execução da obra, garantindo que a intervenção seja segura e eficaz. Para ilustrar a aplicação e a relevância do método proposto, utiliza-se um estudo de caso: a análise dos impactos do fechamento em vidro de sacadas em um edifício residencial em São Paulo, SP.

1.1 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é apresentar uma proposta metodológica para a análise de impactos de reformas em edificações, integrando os requisitos de gestão da NBR 16280 (ABNT, 2020) com os critérios de desempenho da ABNT NBR 15575. Como objetivos secundários, busca-se:

- Ilustrar a aplicação da metodologia por meio de um estudo de caso prático;
- Desenvolver um checklist que sirva como ferramenta de verificação para a análise de planos de reforma;
- Demonstrar como reformas aparentemente simples podem acarretar riscos complexos e multifatoriais.

1.2 Metodologia de pesquisa

A estratégia de pesquisa adotada neste trabalho é o estudo de caso. Segundo Yin (2015), o estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno em profundidade e em seu contexto de mundo real, especialmente quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não são claramente evidentes.

O processo metodológico foi estruturado em três etapas principais:

1. Revisão normativa e estruturação do método: integração dos principais requisitos da NBR 16280 (ABNT, 2020) com a NBR 15575-1 (ABNT, 2025), resultando na elaboração de um checklist para avaliação de reformas em edificações.
2. Definição e caracterização do objeto de estudo: Seleção de um caso representativo de fechamento de sacada em vidro, para aplicação prática do método proposto.
3. Análise de impactos: aplicação sistemática do checklist desenvolvido ao caso selecionado, avaliando as implicações da reforma sob as óticas de segurança, habitabilidade, durabilidade e aspectos legais.

2. CHECKLIST PROPOSTO PARA ANÁLISE DE REFORMAS

A metodologia desenvolvida consiste em cruzar a alteração proposta na reforma com os requisitos de desempenho e gestão, questionando se a intervenção irá manter, melhorar ou piorar as condições originais da edificação. O processo de análise de impacto é dividido em duas frentes complementares:

1. Análise de gestão de reforma: verifica se o plano de reforma atende a todos os requisitos formais e gerenciais, garantindo planejamento, documentação e controle adequados.
2. Análise de impacto no desempenho: avalia o impacto da reforma sobre os requisitos de desempenho descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Requisitos de desempenho de edificações

Categoria	Requisitos de desempenho
Segurança	Estrutural, Contra Incêndio, No Uso e Operação
Habitabilidade	Estanqueidade, Desempenho Térmico, Desempenho Acústico, Desempenho Lumínico, Saúde, Higiene e Qualidade do Ar, Funcionalidade e Acessibilidade, Conforto Tátil e Antropodinâmico
Sustentabilidade	Durabilidade, Manutenibilidade, Adequação Ambiental

Fonte: adaptado de NBR 15575-1 (ABNT, 2025)

Para operacionalizar essa análise, propõe-se o checklist (Tabela 1), que atua como ferramenta de verificação prática para profissionais do setor

Tabela 1 – Checklist para análise de plano de reforma em edificações

Categoria	Item de verificação	Exemplo de não-conformidade
Requisitos da NBR 16280 (ABNT, 2020)	Atendimento às legislações e normas técnicas.	Plano de reforma que não considera a instrução técnica (IT) do Corpo de Bombeiros (CB) para compartimentação vertical.
	Estudo que garanta a segurança da edificação.	Instalação de ar-condicionado em local da fachada sem verificação da capacidade de suporte dos elementos de fixação.
	Apresentação de projetos, memoriais e escopo.	Proprietário apresenta apenas um orçamento de um fornecedor, sem projetos ou detalhamento técnico dos serviços.
	Previsão de níveis de ruído.	Plano para demolição de paredes em horário comercial sem previsão de medidas de mitigação de ruído.
	Identificação de materiais tóxicos, combustíveis e inflamáveis	Plano de reforma que prevê materiais de acabamento com classe de reação ao fogo superior ao determinado pelo Corpo de Bombeiros (CB).

Categoria	Item de verificação	Exemplo de não-conformidade
	Cronograma da reforma	Obra iniciada sem definição de sequência construtiva, prazos e previsão de conclusão.
	Documentação de responsabilidade técnica (ART/RRT).	Reforma iniciada apenas com um contrato de prestação de serviços com um empreiteiro, sem um profissional legalmente habilitado.
	Planejamento de descarte de resíduos.	Plano que prevê o descarte de gesso e entulho na mesma caçamba, contrariando a legislação ambiental.
	Estabelecimento do local de armazenamento de insumos e resíduos	Obra iniciada com grande quantidade de materiais depositados no meio do vão da laje, com carregamento acima do permitido.
	Implicações sobre o manual de uso, operação e manutenção	Reforma que altera o acabamento ou sistema construtivo sem prever cuidados com o uso e manutenção diferenciada.
	Localização e implicações no entorno da reforma, conforme impacto no desempenho:	-
Segurança Estrutural	Análise de sobrecargas permanentes e acidentais.	Instalação de uma banheira de hidromassagem na varanda sem um laudo de verificação estrutural da laje.
	Verificação de impacto em elementos não estruturais.	Abertura de um rasgo no teto de gesso para nova iluminação sem verificar se o corte afeta a estrutura de sustentação do forro.
Segurança contra incêndio	Manutenção da compartimentação vertical e horizontal.	Fechamento de sacada que não atende à distância de 1,20m de parapeito-verga, facilitando a propagação de chamas.
	Manutenção da reação ao fogo dos materiais de revestimento e acabamento.	Troca de revestimento cerâmico em parede por isolamento acústico.
	Manutenção dos equipamentos de detecção e combate.	Obstrução de detectores de fumaça com forros e ou móveis.
	Não obstrução de rotas de fuga e saídas de emergência.	Instalação de um móvel ou jardim de inverno fixo em uma varanda que é rota de fuga secundária.
Estanqueidade	Manutenção da estanqueidade em áreas molhadas.	Perfuração de manta asfáltica para fixação de bases de apoio em piso.
Desempenho térmico	Manutenção do desempenho térmico.	Pintura em cores mais escuras em elementos externos.
Desempenho acústico	Manutenção do desempenho acústico.	Solidarização de revestimento de piso quando aplicados em pisos flutuantes.
Desempenho lumínico	Manutenção do desempenho lumínico artificial e natural.	Obstrução ou troca de janelas.
Saúde, higiene e qualidade do ar	Manutenção da qualidade do ar e ventilação.	Fechamento de área de serviço sem garantir a ventilação permanente exigida para o aquecedor a gás.
Funcionalidade	Manutenção da funcionalidade	Instalação de um ponto de água em local que impede a abertura total de uma porta ou janela.
Acessibilidade	Manutenção da acessibilidade e rotas acessíveis	Instalação de um degrau ou desnível em uma rota anteriormente acessível para criar um novo ambiente.
Conforto tátil e antropodinâmico	Manutenção do conforto tátil e antropodinâmico	Instalação de um piso escorregadio em uma área de passagem ou substituição de um corrimão por um de diâmetro desconfortável.

Categoria	Item de verificação	Exemplo de não-conformidade
Manutenibilidade	Garantia de acesso para manutenção nos diversos elementos	Fechamento de um *shaft* de instalações com alvenaria, impedindo o acesso futuro para inspeção e reparo de tubulações.
Durabilidade	Análise do impacto da reforma na vida útil dos sistemas.	Instalação de um jardim com irrigação sobre uma laje não preparada para umidade constante, acelerando a degradação.
	Especificação de materiais compatíveis e duráveis.	Uso de argamassa inadequada para o reparo de uma fissura em fachada, que volta a trincar em pouco tempo.
Adequação ambiental	Análise do impacto no consumo de energia, água e outros recursos naturais.	Troca de torneiras de baixa vazão para de alta vazão.
	Análise na poluição de solos, efluentes e ar.	Ligação de rede de esgoto em águas pluviais.
Aspectos Legais	Aprovação em assembleia de condomínio.	Alteração da cor da fachada de uma unidade sem a aprovação unânime dos condôminos.
	Obtenção de alvarás e licenças municipais.	Execução de uma reforma com acréscimo de área construída sem a devida aprovação da prefeitura.
	Respeito aos Direitos Autorais do projetista original.	Alteração da volumetria da fachada (ex: fechamento de varanda) sem o consentimento por escrito do arquiteto autor do projeto.

Fonte: adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2025); NBR 16280 (ABNT, 2020)

3. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso analisa o impacto da instalação de um sistema de envidraçamento de sacada (popularmente denominado “fechamento de varanda”) em uma unidade autônoma de um edifício residencial. A intervenção, executada por um condômino, foi objeto de notificação pela construtora, que requisitou um parecer técnico acerca das implicações normativas e de desempenho da alteração.

A seguir, apresenta-se a metodologia de análise de desempenho aplicada ao caso, detalhando os principais impactos técnicos identificados.

3.1 Caracterização da edificação

A edificação objeto deste estudo de caso é um condomínio residencial de padrão médio, localizado no município de São Paulo - SP. O edifício foi construído e entregue há aproximadamente 5 anos, estando ainda dentro de prazos de garantia para diversos sistemas construtivos. Possui torre única com 20 pavimentos tipo, além de pavimentos de garagem e térreo com áreas de lazer.

As varandas das unidades autônomas possuem dimensões médias de 10 m² e são elementos integrantes da composição estética da fachada, desempenhando funções essenciais de ventilação e iluminação natural para as salas de estar adjacentes. Originalmente, as varandas foram projetadas e entregues como ambientes externos, com guarda-corpos em gradil metálico.

A instalação do envidraçamento, embora frequente no mercado imobiliário, representa uma modificação substancial que altera a condição original de “ambiente externo” da sacada para um ambiente interno ou confinado. A seguir, apresenta-se a aplicação da metodologia de análise de desempenho, detalhando os principais impactos técnicos identificados.

3.2 Impacto na segurança

3.2.1 Segurança estrutural

A instalação do sistema de vidro introduz uma carga permanente não prevista no projeto estrutural originário. O peso próprio dos painéis, especialmente quando recolhidos (estacionados) em um único ponto do trilho, gera uma carga concentrada sobre a viga de borda da laje.

A análise técnica deve verificar a capacidade de suporte da estrutura frente a esse novo carregamento, sob a ótica da NBR 6120 (ABNT, 2019). É imperativo considerar não apenas o impacto individual da unidade, mas o efeito acumulado (soma das cargas) caso todas as unidades do prumo adotem a mesma intervenção.

3.2.2 Segurança contra incêndio

Trata-se de um dos aspectos mais críticos e, frequentemente, subestimados em reformas dessa natureza. O fechamento da sacada altera a compartimentação vertical da edificação, essencial para evitar a propagação de chamas entre pavimentos.

Conforme a Instrução Técnica nº 09 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBMSP, 2019), a eficácia da compartimentação depende de elementos corta-fogo na fachada. Segundo o item 6.2.1.1.4 da referida norma:

> 6.2.1.1.4 Nas ocupações residenciais, as sacadas, varandas, balcões e terraços utilizadas no somatório da compartimentação vertical podem ter fechamento com vidro, desde que os anteparos resistentes ao fogo estejam expostos ao ambiente externo do edifício (Figuras A6 a A9).

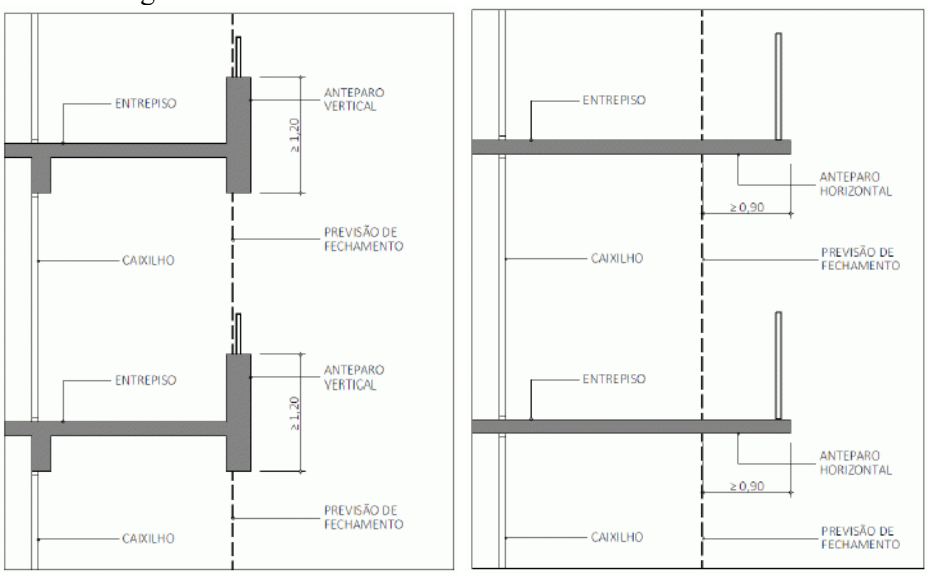
Para o atendimento normativo, exige-se uma distância mínima de 1,20 m entre o fundo da viga de um pavimento e o topo do peitoril (ou platibanda) do pavimento superior — o chamado "parapeito-verga". Na edificação em análise, essa medida não é observada, o que exigiria a instalação de guarda-corpo com vidro corta-fogo, solução de alto custo e rara aplicação prática.

Como alternativas de adequação, a norma prevê:

- Elementos horizontais (abas): Projeção de uma aba de 90 cm a partir da fachada, funcionando como barreira física contra labaredas (Figura 1).
- Recuo do envidraçamento: Instalação do fechamento de vidro recuado em 90 cm em relação à borda da varanda (Figura 2).

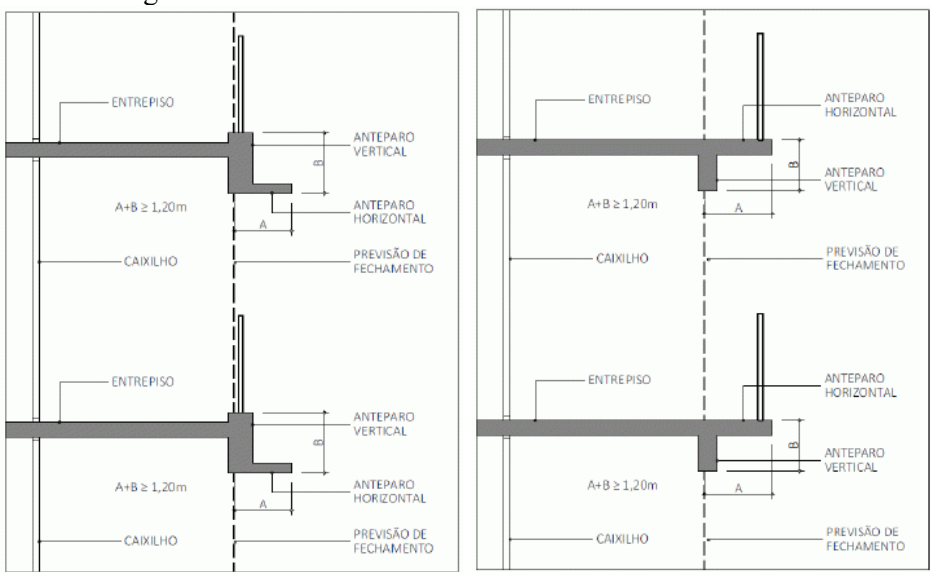
Considerando a configuração arquitetônica atual do edifício, apenas a alternativa de recuo (Figura 2) atenderia aos parâmetros legais. Todavia, tal solução costuma ser considerada funcionalmente inviável pelos usuários por reduzir a área útil da varanda, resultando na irregularidade da reforma sob a ótica da segurança contra incêndio.

Figura 1 - Modelo de fechamento com vidro A6 e A7



Fonte: IT nº 09 (CBMSP, 2019)

Figura 2 - Modelo de fechamento com vidro A8 e A9



Fonte: IT nº 09 (CBMSP, 2019)

3.2.3 Segurança no uso e operação

Para garantir a integridade do sistema de envidraçamento sob esforços de serviço e salvaguardar os usuários, o dimensionamento, a instalação e a manutenção devem observar estritamente as normas NBR 16259 (ABNT, 2014) e NBR 7199 (ABNT, 2016).

É imprescindível a especificação correta do tipo de vidro (temperado ou laminado), selecionado em função das pressões de vento da região e da altura do pavimento, conforme a NBR 6123 (ABNT, 2023). Além da resistência a pressões positivas e negativas de vento, o sistema deve ser ensaiado quanto à resistência a impactos de corpo mole e à ciclicidade de abertura e fechamento, garantindo a durabilidade dos componentes mecânicos.

3.3 Impacto na habitabilidade

3.3.1 Desempenho térmico

Embora a intervenção possa não alterar formalmente os requisitos de transmitância térmica e capacidade técnica da edificação, conforme método de avaliação da NBR 15575-4 (ABNT, 2021), a instalação do vidro cria um efeito estufa. A retenção da radiação infravermelha, aliada à redução da ventilação natural, pode elevar significativamente a temperatura interna (sobreaquecimento), prejudicando o conforto térmico dos ocupantes.

3.3.2 Desempenho acústico

O impacto no isolamento acústico é condicionado à manutenção da esquadria original de transição entre a sala e a varanda. Caso essa esquadria seja removida para integração dos ambientes, haverá perda de desempenho, visto que o fechamento de varanda tipicamente possui índices de isolação inferiores aos das esquadrias de fachada projetadas para esse fim. Consequentemente, haverá maior penetração de ruído aéreo externo na área social.

3.3.3 Estanqueidade

A estanqueidade à água do sistema de envidraçamento não é absoluta. Para mitigar infiltrações, é necessário o detalhamento rigoroso dos pontos de vedação entre o sistema de vidro e o guarda-corpo existente. Expectativas de vedação total por parte do usuário devem ser alinhadas às limitações técnicas do sistema escolhido e à necessidade de drenagem dos trilhos.

3.3.4 Saúde, higiene e qualidade do ar

O confinamento da sacada pode comprometer a renovação do ar, dificultando a dissipação de umidade e calor. A redução da ventilação natural, somada a fatores como orientação solar e geração de vapor interna, favorece a proliferação de agentes biológicos (mofo e bolor) em superfícies e mobiliário.

Quanto aos gases de combustão, a presença de churrasqueiras e a proximidade com áreas de serviço (aquecedores a gás) exigem atenção redobrada. Conforme a NBR 13103 (ABNT, 2020), é mandatória a existência de ventilação permanente no fechamento para garantir a exaustão de gases nocivos e a segurança vital dos moradores, evitando o risco de asfixia ou intoxicação por monóxido de carbono.

3.4 Impacto na durabilidade

O fechamento altera a dinâmica de escoamento das águas pluviais na fachada. A precipitação, antes dispersa, passa a ser concentrada nos trilhos e guias do sistema, sobrecarregando os pontos de drenagem e aumentando o tempo de exposição de soleiras, selantes e rejuntamentos à umidade. Tal condição pode acelerar a degradação dos materiais de interface e originar novos pontos de infiltração para o interior da unidade ou para o pavimento inferior.

3.5 Impacto legal e estético

3.5.1 Alteração estética de fachada

O fechamento de sacadas interfere diretamente na volumetria, no *design* e na paleta de materiais da edificação, impactando a harmonia estética do conjunto. Sob a ótica do Código Civil **(**BRASIL, 2002**)**, o art. 1.336 estabelece como dever do condômino a não alteração da forma e da cor da fachada, das partes e esquadrias externas.

> Art. 1.336. São deveres do condômino:
> [...]
> III - não alterar a forma e a cor da fachada, das partes e esquadrias externas;
>
> Segundo a Lei de Condomínio (BRASIL, 1964, grifo nosso):
> Art. 10. É defeso a qualquer condômino:
> [...]
> § 2º O proprietário ou titular de direito à aquisição de unidade poderá fazer obra que (VETADO) ou modifique sua fachada, se obtiver a aquiescência da unanimidade dos condôminos

Complementarmente, a Lei do Condomínio (Lei nº 4.591/1964), em seu art. 10, § 2º, reforça a proibição de modificações na fachada sem a anuência da unanimidade dos condôminos. Portanto, qualquer intervenção dessa natureza exige a aprovação de um padrão estético homogêneo em assembleia extraordinária. No entanto, a validade jurídica de tal alteração não se restringe apenas à vontade dos proprietários, devendo observar as prerrogativas do autor do projeto.

3.5.2 Direitos autorais e propriedade intelectual do projeto

A fachada é juridicamente protegida como uma obra intelectual e criativa. De acordo com a Lei de Direitos Autorais (BRASIL, 1998), projetos de arquitetura e engenharia são criações do espírito protegidas (Art. 7º, X).

> Art. 7º São obras intelectuais protegidas as criações do espírito, expressas por qualquer meio ou fixadas em qualquer suporte, tangível ou intangível, conhecido ou que se invente no futuro, tais como:
> [...]
> X - os projetos, esboços e obras plásticas concernentes à geografia, engenharia, topografia, arquitetura, paisagismo, cenografia e ciência;

Nesse sentido, a Resolução nº 67 do Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU, 2013) é categórica ao determinar em seu Art. 16:

> Art. 16 estabelece que as alterações em trabalho de autoria de arquiteto e urbanista, tanto em projeto como em obra dele resultante, somente poderão ser feitas mediante consentimento por escrito da pessoa natural titular dos direitos autorais, salvo pacto em contrário.

Jurisprudências nos Tribunais de Justiça Estaduais e no Superior Tribunal de Justiça (STJ) consolidam o entendimento de que modificações substanciais em fachadas, realizadas sem o consentimento do autor, podem ensejar o dever de indenizar por danos morais e materiais, além da obrigação de desfazer a intervenção. Assim, a consulta formal e a aprovação por escrito do projetista original são etapas indispensáveis para a regularidade da obra.

3.5.3 Acréscimo de área construída

O fechamento de varandas possui implicações tributárias e urbanísticas, uma vez que a vedação permanente de uma área antes aberta pode configurar aumento de área construída. Tal incremento deve ser confrontado com o Coeficiente de Aproveitamento (CA) do terreno, podendo ser vedado caso a edificação já tenha atingido o limite de área computável permitido pelo Plano Diretor Estratégico e pela Lei de Zoneamento.

No caso específico do município de São Paulo, a legislação atual permite que áreas de até 30 m² por unidade não sejam computadas como acréscimo de área para fins de licenciamento de reforma, desde que atendidos os requisitos específicos de ventilação. No imóvel objeto deste estudo, a metragem da intervenção enquadra-se nesse limite isento, não apresentando óbice quanto à taxa de ocupação ou ao potencial construtivo remanescente.

5. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma proposta metodológica para a análise de impactos de reformas em edificações, demonstrando sua aplicação prática em um estudo de caso real. Ficou evidente que a abordagem fragmentada e informal para a aprovação e execução de reformas representa um risco significativo para a segurança e o desempenho dos edifícios.

A metodologia, ao integrar a gestão da NBR 16280 com a análise de desempenho da NBR 15575 e com os aspectos legais pertinentes, oferece um caminho estruturado e seguro. O checklist expandido proposto serve como uma ferramenta prática e robusta para guiar essa análise, auxiliando síndicos, gestores, proprietários e profissionais a tomarem decisões mais bem fundamentadas.

A principal contribuição deste trabalho é reforçar que toda reforma é uma intervenção em um sistema complexo e que não existem alterações ineficazes. A avaliação prévia, criteriosa e sistemática dos impactos não é um excesso de burocracia, mas sim a essência da boa prática da engenharia e a principal garantia de segurança e durabilidade para o ambiente construído.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6120: **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

_____. NBR 6123: **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 2023.

_____. NBR 7199: **Vidros na construção civil — Projeto, execução e aplicações**. Rio de Janeiro, 2016.

_____.NBR 13103: **Instalação de aparelhos a gás — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2020.

_____. NBR 15575-1: **Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2025.

_____. NBR 15575-4: **Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro, 2021.

_____. NBR 16259: **Sistemas de envidraçamento de sacadas — Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 16280: **Reforma em edificações — Sistema de gestão de reformas — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. Lei nº 4.591, de 16 de dezembro de 1964. Dispõe sobre o condomínio em edificações e as incorporações imobiliárias. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 17 dez. 1964. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4591.htm>

_____. Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 20 fev. 1998. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9610.htm>

_____. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 11 jan. 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406compilada.htm >

CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO BRASIL (CAU). Resolução nº 67, de 05 de dezembro de 2013. Dispõe sobre os Direitos Autorais na Arquitetura e Urbanismo, estabelece normas e condições para o registro de obras intelectuais no Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU), e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 06 dez. 2013. Disponível em: <https://transparencia.caubr.gov.br/arquivos/resolucao67.pdf>

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBMSP). **Instrução Técnica nº 09/2019**: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. São Paulo, 2019.

YIN, R. K. **Estudo de Caso**: Planejamento e Métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

CAPÍTULO 58 · Parte IV · Qualidade e normatização
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/0gt5k617
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/170gav31

MAPEAMENTO E ANÁLISE COMPARATIVA DE IRREGULARIDADES TÉCNICAS EM OBRAS RESIDENCIAIS MULTIFAMILIARES

Ana Lívia Lima Brasil[1]*, Carla Souza Calheiros[1]; Valdete dos Santos de Araújo[1]
*Autor de contato: livialima.allb01@gmail.com

[1] Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Brasil

RESUMO

A entrega técnica de unidades habitacionais constitui etapa fundamental para a verificação da qualidade construtiva e para a identificação precoce de não conformidades aparentes decorrentes do processo executivo. Este estudo tem como objetivo mapear, classificar e hierarquizar irregularidades técnicas visuais observadas durante a entrega de 40 unidades habitacionais pertencentes a dois empreendimentos multifamiliares verticais de tipologia padronizada, localizados em Manaus-AM. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de natureza descritiva e baseada em estudo de campo, conduzida por meio de inspeções visuais sistematizadas, com registros em checklists digitais e documentação fotográfica. As ocorrências foram avaliadas por meio de um Índice de Severidade (IS), calculado a partir da combinação entre gravidade normativa, impacto de uso e frequência de ocorrência nas unidades analisadas. Os resultados indicaram predominância de irregularidades em revestimentos cerâmicos, fissuras em paredes e lajes, avarias em portas de madeira, falhas hidrossanitárias e não conformidades em esquadrias. O método aplicado mostrou-se adequado para priorizar ações corretivas na fase de entrega e apoiar melhorias no controle da qualidade em empreendimentos habitacionais.
Palavras-chave: inspeção predial; manifestações patológicas; controle de qualidade na construção; índice de severidade, não conformidade.

ABSTRACT

The technical handover of housing units is a crucial step in verifying construction quality and identifying early on any apparent non-conformity resulting from the construction process. This study aims to map, classify, and prioritize visual technical irregularities observed during the handover of 40 housing units belonging to two standardized multi-family vertical developments located in Manaus, Amazonas. The research is characterized as applied, descriptive in nature, and based on fieldwork, conducted through systematic visual inspections, with records in digital checklists and photographic documentation. The occurrences were evaluated using a Severity Index (SI), calculated based on a combination of regulatory severity, impact on use, and frequency of occurrence in the analyzed units. The results indicated a predominance of irregularities in ceramic tiles, cracks in walls and slabs, damage to wooden doors, plumbing and sanitation failures,

and non-conformities in window and door frames. The method applied proved adequate for prioritizing corrective actions during the handover phase and supporting improvements in quality control in housing developments.
Keywords: building inspection; pathological manifestations; quality control in construction; severity index; non-conformity.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da produção habitacional nas últimas décadas tem ampliado a necessidade de mecanismos eficazes de controle da qualidade na construção civil, especialmente nas etapas finais de entrega das edificações. Nesse contexto, a verificação técnica das unidades habitacionais torna-se fundamental para assegurar o atendimento aos requisitos de desempenho e durabilidade estabelecidos para os sistemas construtivos (ABNT NBR 15575-1).

A presença de manifestações patológicas em edificações pode decorrer de falhas relacionadas às etapas de projeto, execução ou utilização, sendo frequentemente observada ainda nos momentos iniciais de ocupação das unidades. Segundo Helene (1992), as manifestações patológicas representam sintomas visíveis de não conformidades técnicas que afetam o desempenho dos sistemas e podem comprometer a vida útil das edificações.

Souza e Ripper (1998) destacam que muitas dessas ocorrências estão associadas a deficiências de execução, incompatibilidades entre materiais ou ausência de controle técnico adequado durante o processo construtivo. Tais fatores favorecem o surgimento de fissuras, destacamentos de revestimentos, falhas de vedação e problemas em sistemas prediais, que frequentemente se tornam perceptíveis durante a etapa de entrega das unidades.

No âmbito normativo, a série de normas de desempenho para edificações habitacionais estabelece critérios mínimos relacionados à segurança, habitabilidade e durabilidade dos sistemas construtivos, orientando tanto o processo de execução quanto a verificação das condições de entrega das edificações (ABNT NBR 15575-1). Nesse cenário, a inspeção predial surge como ferramenta técnica relevante para a identificação sistemática de irregularidades aparentes.

Campos, Cidade e Júnior (2021) ressaltam que a inspeção visual constitui procedimento amplamente utilizado em avaliações técnicas de edificações, permitindo identificar não conformidades construtivas por meio da observação direta dos elementos e da realização de verificações simples de funcionamento dos sistemas prediais.

Entretanto, em empreendimentos com grande número de unidades, a simples identificação das irregularidades não é suficiente para orientar a tomada de decisão técnica. Torna-se necessário estabelecer critérios que permitam classificar e priorizar as ocorrências observadas, considerando seu impacto no desempenho da edificação e na experiência do usuário.

Nesse contexto, métodos de priorização inspirados em ferramentas de análise de risco têm sido aplicados em diferentes áreas da engenharia para apoiar processos de avaliação técnica. Amaral et al. (2018) destacam que a aplicação de modelos baseados em composição de métodos permite estruturar indicadores capazes de hierarquizar problemas de acordo com sua severidade e frequência de ocorrência.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo mapear, classificar e hierarquizar irregularidades técnicas visuais observadas durante a entrega de unidades habitacionais, por meio da aplicação de um índice de severidade associado à análise de Pareto aplicado a ocorrências construtivas identificadas em empreendimentos multifamiliares verticais localizados na cidade de Manaus-AM.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manifestações Patológicas em Edificações

Os processos de degradação observados em edificações frequentemente se manifestam por meio de alterações indesejadas no comportamento dos sistemas construtivos, perceptíveis através de sinais físicos que indicam perda de funcionalidade, durabilidade ou qualidade estética dos elementos da construção. Esses fenômenos são frequentemente associados a falhas ocorridas nas etapas de projeto, execução ou utilização da edificação, podendo comprometer o comportamento esperado dos sistemas ao longo de sua vida útil (Helene, 1992).

De acordo com Souza e Ripper (1998), as não conformidades podem ser compreendidas como sintomas resultantes de processos de degradação ou de não conformidades técnicas incorporadas durante a construção. Tais manifestações costumam aparecer na forma de fissuras, destacamentos de revestimentos, infiltrações ou deformações em elementos estruturais e de vedação, indicando que determinado sistema não está desempenhando adequadamente as funções para as quais foi concebido.

A ocorrência dessas irregularidades está frequentemente relacionada à combinação de fatores técnicos, como especificação inadequada de materiais, falhas de execução, ausência de controle tecnológico ou incompatibilidades entre sistemas construtivos. Helene (1992) destaca que a identificação precoce dessas manifestações é essencial para evitar a evolução dos danos e reduzir custos associados a intervenções corretivas posteriores.

No contexto das edificações habitacionais, muitas manifestações patológicas tornam-se perceptíveis durante as fases finais da obra ou no momento da entrega das unidades aos usuários. Nesse período, irregularidades executivas ou defeitos de acabamento passam a ser observados com maior clareza, tornando a inspeção técnica um instrumento relevante para a verificação da conformidade da obra em relação aos requisitos de desempenho estabelecidos na ABNT NBR 15575-1:2024.

A identificação sistemática das manifestações patológicas permite compreender as principais origens das não conformidades observadas em empreendimentos habitacionais e subsidiar estratégias de melhoria nos processos construtivos. Souza e Ripper (1998) ressaltam que o estudo das patologias em edificações não se limita à identificação dos danos, mas também contribui para o aperfeiçoamento das práticas de projeto, execução e controle da qualidade na construção civil.

2.2 Sistemas Construtivos e Manifestações Típicas na Entrega

Durante a etapa de conclusão das obras e preparação para a entrega das unidades habitacionais, diversos sistemas construtivos passam por verificação funcional e estética, momento em que irregularidades executivas tendem a se tornar mais evidentes. Esse processo de avaliação permite

identificar falhas que podem comprometer o desempenho esperado dos elementos da edificação, especialmente aqueles diretamente relacionados ao uso cotidiano dos moradores (ABNT NBR 15575-1).

Entre os sistemas frequentemente avaliados nessa fase destacam-se os revestimentos de pisos e paredes, responsáveis por funções de proteção superficial, acabamento e facilidade de manutenção dos ambientes. Defeitos como desplacamento de peças, presença de “som cavo”, desalinhamentos ou falhas de rejuntamento estão normalmente associados a problemas de execução ou de aderência entre as camadas do sistema de revestimento (ABNT NBR 15575-1).

As esquadrias também constituem elementos sensíveis na etapa de entrega das edificações, pois desempenham papel importante na vedação, ventilação e iluminação dos ambientes internos. Problemas de funcionamento, falhas de vedação ou desalinhamentos podem comprometer o desempenho desses sistemas, afetando aspectos relacionados à estanqueidade e ao conforto dos usuários (ABNT NBR 15575-1).

Outro grupo relevante corresponde às instalações hidrossanitárias, cuja verificação envolve o funcionamento adequado dos pontos de utilização, a ausência de vazamentos aparentes e o correto escoamento das águas nos sistemas prediais. A identificação de obstruções, vazamentos ou retorno de efluentes durante a entrega das unidades pode indicar falhas de execução ou problemas de dimensionamento das tubulações (ABNT NBR 15575-1).

Além desses aspectos, a presença de fissuras em elementos de vedação vertical ou em superfícies de lajes constitui ocorrência recorrente em edificações recém-concluídas. Essas descontinuidades podem resultar de movimentações diferenciais entre elementos construtivos, retração de materiais ou tensões decorrentes do processo de execução, exigindo avaliação técnica para verificar sua relevância estrutural ou funcional (Souza; Ripper, 1998).

2.3 Classificação de Irregularidades e Aplicação do método FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

Em processos de avaliação técnica de edificações, a identificação das irregularidades observadas durante inspeções constitui apenas a etapa inicial do diagnóstico. Em empreendimentos com grande número de unidades ou ocorrências registradas, torna-se necessário estabelecer critérios que permitam hierarquizar as não conformidades identificadas, direcionando as ações corretivas para os problemas com maior potencial de impacto sobre o desempenho da edificação.

Nesse contexto, métodos de análise de risco têm sido utilizados como ferramentas de apoio à tomada de decisão técnica em diferentes áreas da engenharia. Entre esses métodos destaca-se o Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), originalmente desenvolvido para identificar modos de falha em sistemas e avaliar seus efeitos potenciais, permitindo priorizar intervenções com base na gravidade e na probabilidade de ocorrência dos problemas identificados (Amaral et al., 2018).

O princípio fundamental do FMEA baseia-se na atribuição de índices associados a fatores que influenciam o risco de determinada falha, possibilitando a construção de um indicador numérico capaz de classificar a criticidade das ocorrências analisadas. De acordo com Amaral et al. (2018), a aplicação de métodos compostos de avaliação permite estruturar indicadores quantitativos que auxiliam na hierarquização de problemas técnicos em contextos operacionais complexos.

A partir dessa lógica, adaptações do método têm sido empregadas em estudos relacionados à avaliação de edificações, permitindo transformar informações provenientes de inspeções visuais em indicadores comparáveis entre diferentes sistemas construtivos. Essa abordagem contribui para reduzir a subjetividade na análise das ocorrências e fornece suporte técnico para a definição de prioridades de intervenção em empreendimentos habitacionais.

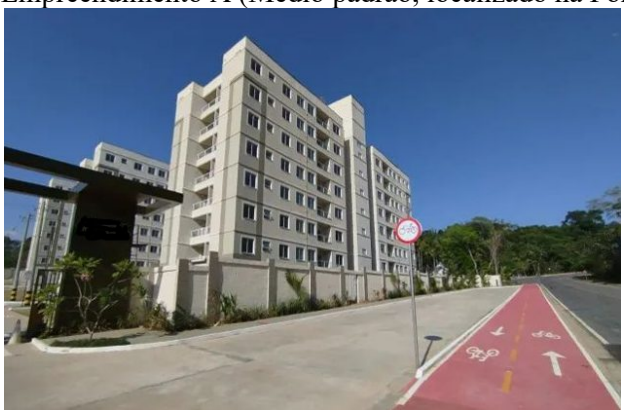
Assim, a utilização de indicadores derivados de métodos de análise de risco torna-se uma estratégia relevante para apoiar processos de gestão da qualidade na construção civil, permitindo organizar e interpretar de forma estruturada os dados obtidos em inspeções técnicas e subsidiar decisões relacionadas à correção de irregularidades identificadas durante a fase de entrega das edificações (Amaral et al., 2018).

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Pesquisa

A presente investigação caracteriza-se como pesquisa aplicada, de natureza descritiva e baseada em estudo de campo, conduzida em dois empreendimentos residenciais multifamiliares verticais localizados na cidade de Manaus, Amazonas. O estudo concentrou-se na etapa de entrega técnica das unidades habitacionais, fase em que são realizadas verificações destinadas a identificar irregularidades construtivas aparentes antes da ocupação definitiva pelos usuários.

Figura 1 – Empreendimento A (Médio padrão, localizado na Ponta Negra).



Fonte: os autores.

Figura 2 – Empreendimento B (Médio/Alto padrão, localizado no Novo Aleixo).

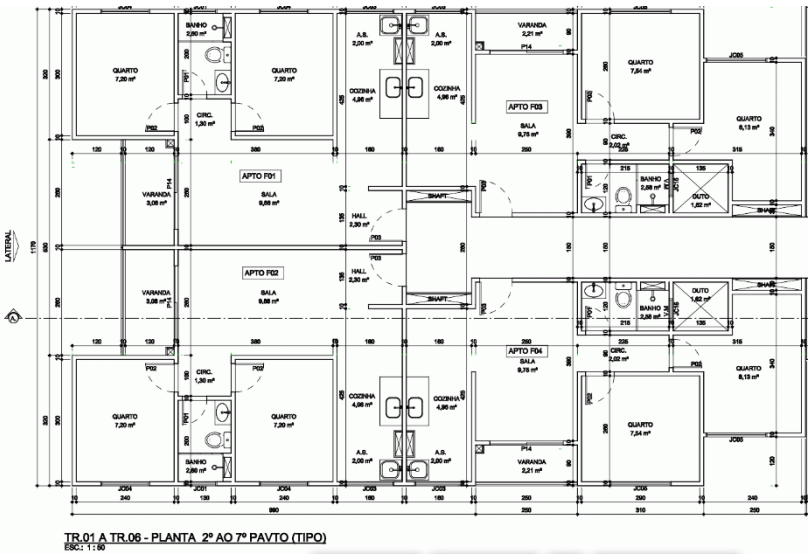


Fonte: os autores.

Foram analisadas quarenta unidades habitacionais com tipologia construtiva padronizada (figura 3), pertencentes aos empreendimentos investigados. A tipologia das unidades conta com dois dormitórios, um banheiro, sala integrada com a cozinha integrada e área de serviço e varanda, medindo aproximadamente 40m².

A escolha desse universo de análise buscou representar o conjunto de ocorrências observáveis na fase de finalização das obras, permitindo avaliar padrões recorrentes de irregularidades técnicas presentes nos sistemas construtivos inspecionados.

Figura 3 – Planta Baixa – Tipologias. Empreendimento A e B.



Fonte: BIM 360 Construtora X (nome omitido por confidencialidade), 2022.

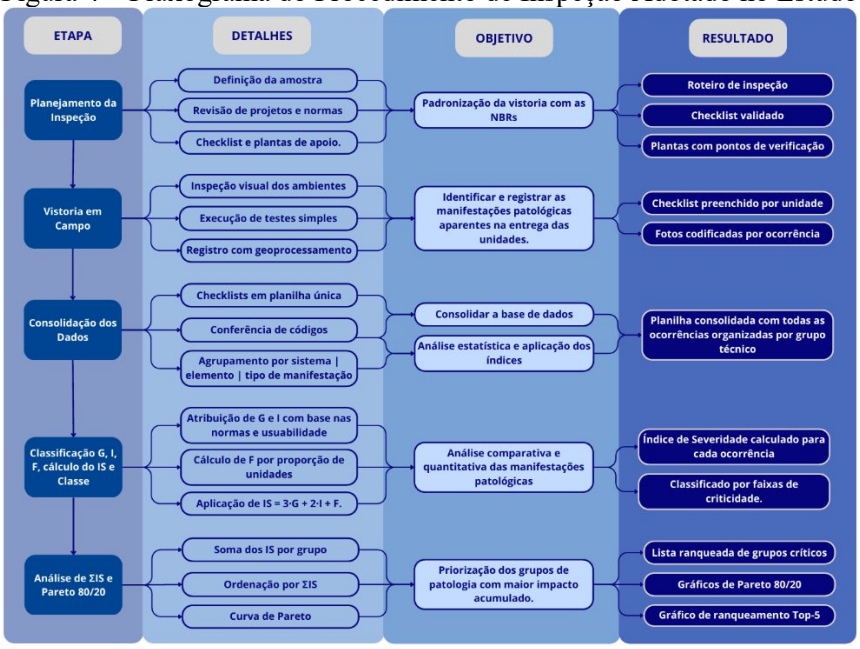
3.2 Procedimento de Inspeção Técnica e Etapas do Processo Metodológico

A coleta de dados foi realizada por meio de inspeções visuais sistematizadas nas unidades habitacionais selecionadas. Durante as visitas técnicas foram avaliados elementos construtivos associados aos principais sistemas presentes nas unidades, incluindo revestimentos, esquadrias, portas internas, elementos de vedação vertical e instalações hidrossanitárias.

As inspeções foram conduzidas com auxílio de checklists estruturados, elaborados para registrar de forma padronizada as ocorrências identificadas em cada unidade. Esse procedimento permitiu organizar as informações coletadas de maneira comparável entre as unidades analisadas, favorecendo a posterior consolidação dos dados.

Além do registro em checklist, as irregularidades observadas foram documentadas por meio de registros fotográficos, possibilitando a verificação posterior das condições encontradas e a caracterização das manifestações identificadas durante as inspeções de campo.

Figura 4 – Fluxograma do Procedimento de Inspeção Adotado no Estudo



Fonte: os autores.

3.3 Cálculo do Índice de Severidade das Ocorrências

Com base nas irregularidades identificadas durante as inspeções, foi aplicado um indicador denominado Índice de Severidade (IS), utilizado para avaliar o nível de criticidade das ocorrências registradas. O cálculo do indicador foi estruturado a partir da combinação de três parâmetros conforme apresentado pelo método FMEA: gravidade normativa da irregularidade, impacto potencial sobre o uso da edificação e frequência de ocorrência nas unidades analisadas.

$$NPR = S \times O \times D \quad (1)$$

Fonte: Adaptado de Amaral et al., 2018.

Onde:
S = Severidade
O = Ocorrência
D = Detecção e
NPR = Número de Prioridade de Risco.

A gravidade normativa foi definida a partir da relação da irregularidade com requisitos técnicos estabelecidos em normas aplicáveis aos sistemas construtivos. O impacto de uso considerou o grau de interferência da irregularidade no funcionamento ou na habitabilidade da unidade. Já a frequência foi determinada com base no número de unidades em que cada ocorrência foi identificada. As ocorrências foram então classificadas em faixas de severidade: baixa (0–3), moderada (4–7), alta (8–9) e crítica (≥10).

$$IS = 3 \cdot G + 2 \cdot I + F \quad (2)$$

Onde:
G = gravidade técnica
I = impacto funcional/estético
F = frequência de ocorrência e

IS = Índice de Severidade.

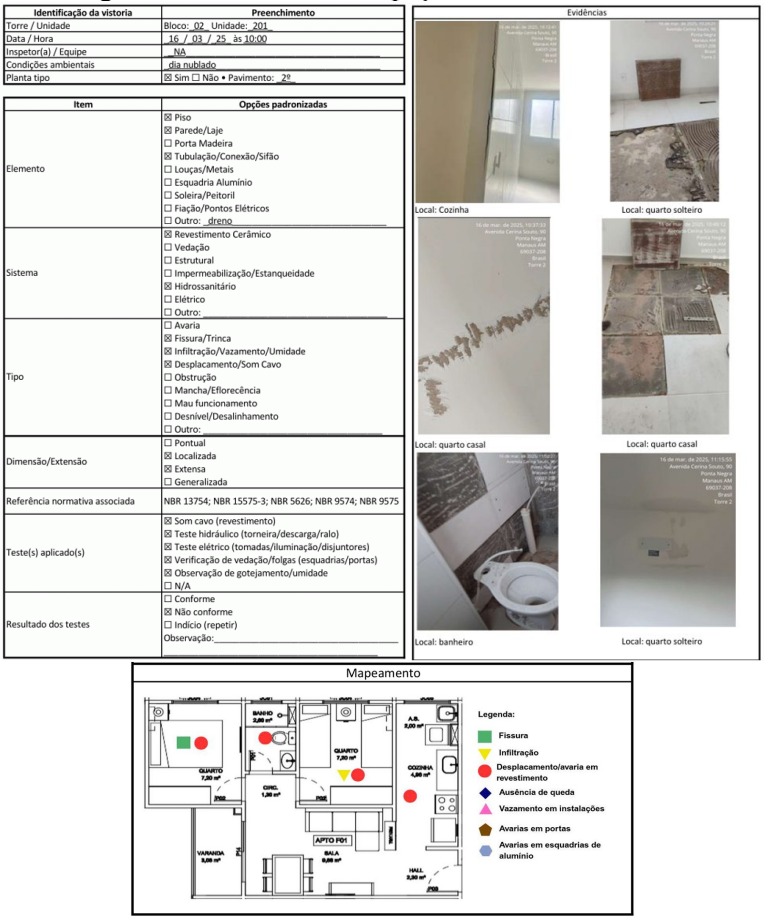
Na sequência, as ocorrências foram agregadas por grupo técnico, obtendo-se o somatório dos índices de severidade para cada grupo (ΣIS). Com essa série, construiu-se a curva de Pareto 80/20, relacionando a contribuição percentual acumulada de ΣIS aos grupos ordenados por criticidade. Essa análise permitiu identificar os "poucos vitais" responsáveis pela maior parcela do impacto global, fornecendo base objetiva para discussão dos resultados e priorização de ações corretivas e preventivas no empreendimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As inspeções técnicas realizadas nas quarenta unidades habitacionais permitiram identificar um conjunto representativo de irregularidades construtivas aparentes distribuídas entre diferentes sistemas da edificação. As ocorrências registradas abrangeram principalmente revestimentos cerâmicos, elementos de vedação vertical, esquadrias, portas de madeira e instalações hidrossanitárias, refletindo problemas frequentemente associados à etapa final de execução das obras.

A análise inicial dos registros obtidos por meio dos checklists digitais possibilitou organizar as irregularidades observadas em categorias técnicas, permitindo identificar padrões de repetição entre as unidades avaliadas.

Figura 5 – Checklist de Inspeção Visual Preenchido.



Identificação da vistoria	Preenchimento
Torre / Unidade	Bloco: 02 Unidade: 201
Data / Hora	16 / 03 / 25 às 10:00
Inspetor(a) / Equipe	NA
Condições ambientais	dia nublado
Planta tipo	☒ Sim ☐ Não • Pavimento: 2º

Item	Opções padronizadas
Elemento	☒ Piso ☒ Parede/Laje ☐ Porta Madeira ☒ Tubulação/Conexão/Sifão ☐ Louças/Metais ☐ Esquadria Alumínio ☐ Soleira/Peitoril ☐ Fiação/Pontos Elétricos ☐ Outro: dreno
Sistema	☒ Revestimento Cerâmico ☐ Vedação ☐ Estrutural ☐ Impermeabilização/Estanqueidade ☒ Hidrossanitário ☐ Elétrico ☐ Outro:
Tipo	☐ Avaria ☒ Fissura/Trinca ☒ Infiltração/Vazamento/Umidade ☒ Desplacamento/Som Cavo ☐ Obstrução ☐ Mancha/Eflorecência ☐ Mau funcionamento ☐ Desnível/Desalinhamento ☐ Outro:
Dimensão/Extensão	☐ Pontual ☒ Localizada ☒ Extensa ☐ Generalizada
Referência normativa associada	NBR 13754; NBR 15575-3; NBR 5626; NBR 9574; NBR 9575
Teste(s) aplicado(s)	☒ Som cavo (revestimento) ☒ Teste hidráulico (torneira/descarga/ralo) ☒ Teste elétrico (tomadas/iluminação/disjuntores) ☒ Verificação de vedação/folgas (esquadrias/portas) ☒ Observação de gotejamento/umidade ☐ N/A
Resultado dos testes	☐ Conforme ☒ Não conforme ☐ Indício (repetir) Observação:

Fonte: os autores.

4.1 Consolidação das Irregularidades Identificadas

A partir desses formulários foi elaborada a planilha única de consolidação. Cada linha corresponde a uma ocorrência, associada ao respectivo grupo técnico e aos escores de gravidade técnica, impacto e frequência.

Os dados consolidados evidenciaram que determinadas irregularidades apresentaram recorrência significativa entre as unidades habitacionais, indicando possíveis padrões associados a processos executivos ou a etapas específicas da obra.

Essa organização permite enxergar, de forma rápida, a concentração de manifestações por sistema e por unidade, além de facilitar filtros e agrupamentos posteriores.

Figura 6 – Trecho da Planilha de Consolidação de Evidências de U1-U40 e índice de G, I e F e IS.

ID ocorrência	Unidade	Ambiente	Grupo (Sistema | Elemento | Tipo)	Normativo utilizado	evidência registrada	G	I	F	IS	Classe
U1-01	1	Quarto solteiro	Parede/Laje | Estrutura | Fissura/Trinca	N15575-3	fissura na diagonal – quarto solteiro	1	1	3	8	Alto
U1-02	1	Quarto casal	Parede/Laje | Estrutura | Fissura/Trinca	N15575-3	fissura na diagonal – quarto casal	1	1	3	8	Alto
U1-03	1	Sala	Parede/Laje | Estrutura | Fissura/Trinca	N15575-3	fissura na diagonal – sala	1	1	3	8	Alto
U1-04	1	Cozinha	Parede/Piso | Revestimento Cerâmico | Desplacamento/Som Cavo	N13753/13754	desplacamento de revestimento – cozinha	3	3	3	18	Crítico
U1-05	1	Sala	Parede/Piso | Revestimento Cerâmico | Desplacamento/Som Cavo	N13753	desplacamento de revestimento – sala	3	3	3	18	Crítico
U2-01	2	Cozinha	Parede/Piso | Revestimento Cerâmico | Desplacamento/Som Cavo	N13754	desplacamento de revestimento – cozinha	3	3	3	18	Crítico
U2-02	2	Quarto solteiro	Parede/Piso | Revestimento Cerâmico | Desplacamento/Som Cavo	N13753	desplacamento do piso e manta acústica – quarto solteiro	3	3	3	18	Crítico
U2-03	2	Quarto casal	Parede/Laje | Estrutura | Fissura/Trinca	N15575-3	fissura diagonal – quarto casal	1	1	3	8	Alto
U2-04	2	Quarto casal	Parede/Piso | Revestimento Cerâmico | Desplacamento/Som Cavo	N13753	desplacamento do piso – quarto casal	3	3	3	18	Crítico
U2-05	2	Banheiro	Parede/Piso | Revestimento Cerâmico | Desplacamento/Som Cavo	N13754	desplacamento de azulejos – banheiro	3	3	3	18	Crítico

Fonte: os autores.

4.2 Avaliação do Índice de Severidade das Ocorrências

Com base na planilha consolidada, o Índice de Severidade foi calculado para cada ocorrência, combinando gravidade técnica, impacto e frequência. A Tabela 1 apresenta o somatório do IS por grupo de manifestação e o valor acumulado ao longo da lista ordenada. Essa tabela sintetiza a contribuição relativa de cada grupo para o resultado global do empreendimento.

Tabela 1: Consolidação de ΣIS e IS% acumulado

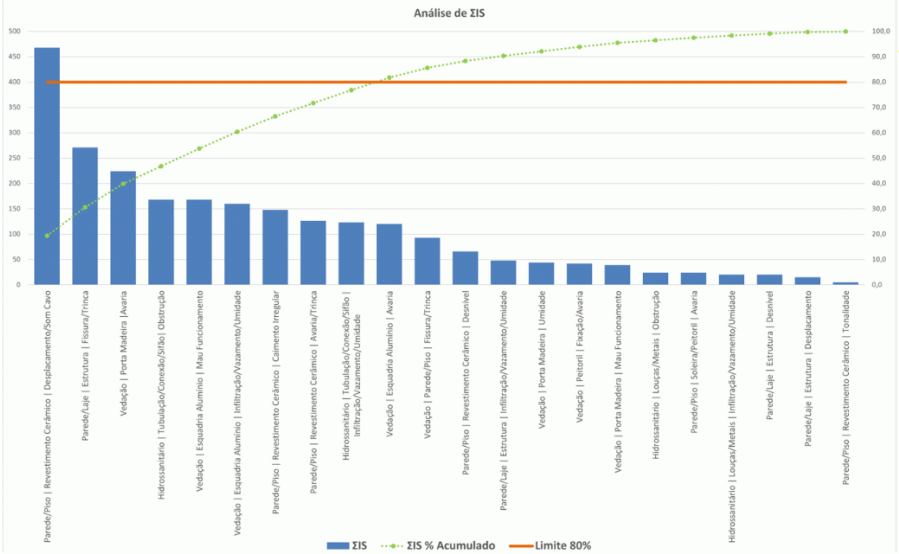
Grupo (Sistema | Elemento | Tipo)	ΣIS	ΣIS % Acumulado	Limite 80%	ΣIS acumulado	N (ocorrências)	n (unidades)	F proporcional
Parede/Piso | Revestimento Cerâmico | Desplacamento/Som Cavo	468	19,4	80,0	468	31	23	3
Parede/Laje | Estrutura | Fissura/Trinca	271	30,6	80,0	739	31	25	3
Vedação | Porta Madeira |Avaria	224	39,9	80,0	963,0	28	22	3
Hidrossanitário | Tubulação/Conexão/Sifão| Obstrução	168	46,8	80,0	1131,0	12	11	2
Vedação | Esquadria Alumínio | Mau Funcionamento	168	53,8	80,0	1299,0	14	10	2
Vedação | Esquadria Alumínio | Infiltração/Vazamento/Umidade	160	60,4	80,0	1459,0	10	9	2
Parede/Piso | Revestimento Cerâmico | Caimento Irregular	148	66,5	80,0	1607,0	9	9	2
Parede/Piso | Revestimento Cerâmico | Avaria/Trinca	126	71,7	80,0	1733,0	13	12	2

Grupo (Sistema | Elemento | Tipo)	ΣIS	ΣIS % Acumulado	Limite 80%	ΣIS acumulado	N (ocorrências)	n (unidades)	F proporcional
Hidrossanitário | Tubulação/Conexão/Sifão | Infiltração/Vazamento/Umidade	123	76,8	80,0	1856,0	9	7	2
Vedação | Esquadria Alumínio | Avaria	120	81,8	80,0	1976,0	10	9	2
Vedação | Parede/Piso | Fissura/Trinca	93	85,6	80,0	2069,0	7	7	1
Parede/Piso | Revestimento Cerâmico | Desnível	66	88,4	80,0	2135,0	6	6	1
Parede/Laje | Estrutura | Infiltração/Vazamento/Umidade	48	90,4	80,0	2183,0	3	3	1
Vedação | Porta Madeira | Umidade	44	92,2	80,0	2227,0	4	3	1
Vedação | Peitoril | Fixação/Avaria	42	93,9	80,0	2269,0	3	2	1
Vedação | Porta Madeira | Mau Funcionamento	39	95,5	80,0	2308,0	3	3	1
Hidrossanitário | Louças/Metais | Obstrução	24	96,5	80,0	2332,0	2	2	0
Parede/Piso | Soleira/Peitoril | Avaria	24	97,5	80,0	2356,0	4	4	1
Hidrossanitário | Louças/Metais | Infiltração/Vazamento/Umidade	20	98,3	80,0	2376,0	2	2	0
Parede/Laje | Estrutura | Desnível	20	99,2	80,0	2396,0	2	2	0
Parede/Laje | Estrutura | Desplacamento	15	99,8	80,0	2411,0	1	1	0
Parede/Piso | Revestimento Cerâmico | Tonalidade	5	100,0	80,0	2416,0	1	1	0

Fonte: os autores.

Observa-se que grupos com grande número de registros nem sempre apresentam os maiores valores de ΣIS. A partir da Tabela 1 foi construído o gráfico de Pareto, apresentado na Figura 6. As barras representam o ΣIS de cada grupo de manifestação, enquanto a curva indica o percentual acumulado do índice em ordem decrescente de criticidade.

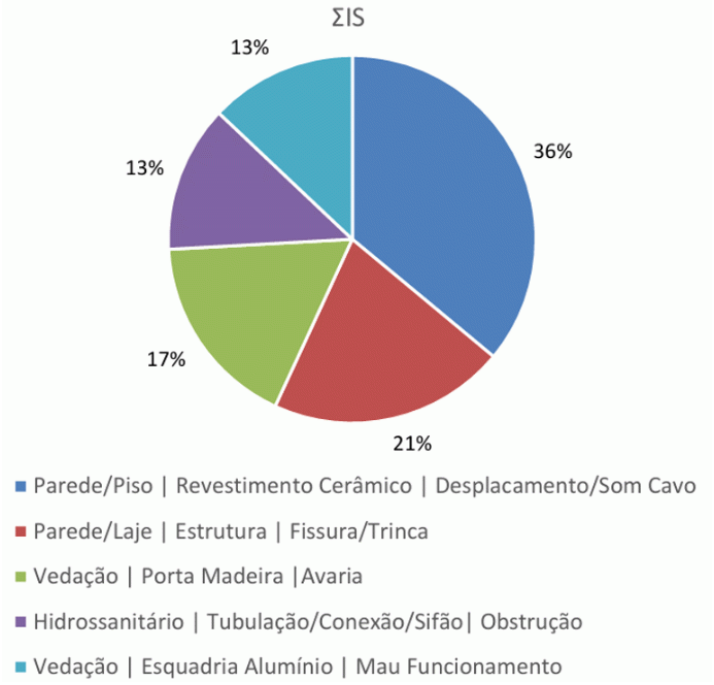
Figura 7 – Gráfico de Pareto 80/20 para Análise de Manifestações Patológicas pela relação Grupo x IS.



Fonte: os autores.

A curva mostra que um conjunto reduzido de grupos atinge aproximadamente oitenta por cento do ΣIS total ainda nas primeiras posições. Esses grupos compõem o núcleo de maior interesse para a gestão da qualidade e para o planejamento de ações de pós-obra. Para a classificação, a Figura 11 apresenta o ranqueamento dos cinco grupos de manifestações patológicas com maiores valores de ΣIS, indicando que ações focadas nesse conjunto tendem a produzir ganhos de desempenho mais significativos do que intervenções pulverizadas em manifestações isoladas ou de baixa severidade.

Figura 8 – Gráfico Top-5 com Maiores Grupos de Manifestações Patológicas Apurados.



Fonte: os autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das inspeções realizadas nas quarenta unidades habitacionais permitiu identificar um conjunto recorrente de irregularidades construtivas aparentes associadas principalmente a revestimentos cerâmicos, fissuras em elementos de vedação, avarias em portas de madeira, falhas em sistemas hidrossanitários e não conformidades em esquadrias. A organização sistemática dessas ocorrências possibilitou compreender os padrões de repetição presentes no empreendimento analisado e evidenciar a relevância da inspeção técnica na etapa de entrega das edificações.

A aplicação do Índice de Severidade mostrou-se adequada para transformar registros de inspeção visual em um indicador comparável de criticidade das irregularidades identificadas. A utilização do indicador, associada à análise de Pareto, permitiu estabelecer um ranqueamento das ocorrências mais relevantes, contribuindo para direcionar ações corretivas prioritárias e apoiar processos de tomada de decisão relacionados ao controle de qualidade em empreendimentos habitacionais.

Os resultados obtidos demonstram que a sistematização das inspeções e a utilização de indicadores de priorização podem contribuir para o aperfeiçoamento dos procedimentos de verificação técnica na fase de entrega das unidades. Dessa forma, o método proposto apresenta potencial de aplicação como ferramenta de apoio à gestão da qualidade na construção civil, auxiliando na identificação

de irregularidades críticas e no planejamento de intervenções corretivas em empreendimentos residenciais.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14037:2024 – Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2024. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/. Acesso em: 22 ago. 2025.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1:2025 – Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2025. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/. Acesso em: 15 set. 2025.

AMARAL, M. M.; NUNES, R. C.; AMARAL, É. H. Metodologia para cálculo do risco por composição de métodos. Programa de Pós-Graduação – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2018. Disponível em: https://www.bing.com/ck/a. Acesso em: 11 de Setembro de 2025.

BEZERRA, A. J. **Inspeção predial em sistemas de água fria, esgoto sanitário e águas pluviais: estudo de caso em escolas públicas.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/57960/1/2021_tcc_ajabezerra.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.

CAMPOS, G. R.; CIDADE, C. A.; JÚNIOR, D. F. **Introdução à vistorias nas perícias: constatação, conformidade e causalidade.** São Paulo: IBAPE Nacional, 2021. Disponível em: https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2021/11/ . Acesso em: 08 mar. 2025.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1992.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1998.

CAPÍTULO 59 · Parte IV · Qualidade e normatização
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/ykfg5v18
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/9yhrbk88

ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE ÂNODOS DE SACRIFÍCIO GALVÂNICOS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Thales Agostinho[1]*; Hamilton Soares[2]; Thomas Carmona[3]; Tiago Carmona[4] e Antonio Carmona[5]
*Autor de contato: agostinho@carmona.eng.br

[1, 2, 3, 4 e 5]Carmona Soluções de Engenharia, São Paulo, Brasil

RESUMO

A corrosão de armaduras em ambientes agressivos com presença de íons cloreto representa uma das principais causas de deterioração em estruturas de concreto armado. A proteção catódica com ânodos de sacrifício galvânicos se destaca como uma técnica eficaz de proteção de estruturas de concreto, sendo sua vida útil diretamente ligada à densidade de corrente liberada ao longo da vida útil. O presente estudo apresenta uma análise comparativa entre três métodos de dimensionamento de ânodos de sacrifício: o procedimento estabelecido pela ABNT NBR 17277 (2026), as recomendações da empresa *Vector Corrosion Technologies* (2024) e o método proposto por Carmona *et al.* (2015). A análise foi realizada a partir de três cenários de estruturas expostas a diferentes classes de agressividade ambiental e teores de cloretos, adotando parâmetros padronizados de área de reparo, quantidade de armadura e vida útil residual. Os resultados indicaram uma quantidade de ânodos excessivamente grande e fora da realidade pelo método da ABNT NBR 17277 (2026), sendo mais próximas pelos métodos Carmona *et al.* (2015) e Vector (2024), sendo que o método proposto em Carmona *et al.* é mais coerente com as classes de agressividade ambiental não estando vinculada unicamente ao teor de cloretos da estrutura em questão.
Palavras-chave: proteção catódica; ânodos de sacrifício galvânicos; densidade de corrente; vida útil residual; método de dimensionamento.

ABSTRACT

Reinforcement corrosion in aggressive environments with the presence of chloride ions represents one of the main causes of deterioration in reinforced concrete structures. Cathodic protection using galvanic sacrificial anodes stands out as an effective technique for protecting concrete structures, with its performance being directly related to the protection current density adopted in the design process. This study presents a comparative analysis of three sacrificial anode design methods: the procedure established by ABNT NBR 17277 (2026), the recommendations of Vector Corrosion Technologies (2024), and the method proposed by Carmona *et al.* (2015). The analysis was conducted based on three scenarios of structures exposed to different environmental aggressiveness classes and chloride contents, adopting standardized parameters for repair area, reinforcement area, and residual service life. The results indicated a significantly higher number of anodes when applying the ABNT NBR 17277 (2026) method, while the methods proposed by Carmona *et al.* (2015) and Vector (2024) produced estimates closer to practical expectations. The method proposed by Carmona et al. proved to be more consistent with environmental aggressiveness classes, as it is not based solely on the chloride content of the structure under consideration.
Keywords: cathodic protection; galvanic sacrificial anodes; current density; residual service life; design method.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, com o objetivo de prolongar a vida útil de estruturas de concreto e de recuperar estruturas com elevada contaminação por cloretos, como obras portuárias e determinadas estruturas industriais, diversas técnicas de prevenção e proteção contra a corrosão passaram a ganhar destaque na indústria da construção civil (HU *et al.*, 2022). Entre essas técnicas, destaca-se a proteção catódica, que consiste na conexão de um metal menos nobre à armadura da estrutura, promovendo a circulação de corrente galvânica e o consumo do metal menos nobre, denominado ânodo de sacrifício (Brousseau; Baldock, 1998).

Embora amplamente utilizada em setores como a indústria naval e em estruturas metálicas enterradas, a aplicação dessa técnica em estruturas de concreto armado ainda carece de estudos mais aprofundados. Sabe-se que o desempenho do sistema e os métodos de dimensionamento dependem diretamente da densidade de corrente liberada pelos ânodos, a qual, segundo Whitmore e Sergi (2021) e Ricker, Haixue e Nie (2023), é influenciada por fatores como o teor de cloretos, a umidade do concreto e do ambiente, a resistividade elétrica do concreto e as características dos ânodos utilizados.

No Brasil, um dos primeiros estudos sobre o tema foi conduzido por Carmona et al. (2015), que realizou o monitoramento da corrente liberada por ânodos ao longo de quatro anos, comparando esses valores com a perda efetiva de massa de ânodos removidos da estrutura. Além disso, estudos mais recentes por Carmona *et al.* (2025) têm proposto critérios de estimativa da vida útil e para o dimensionamento de ânodos de sacrifício, com base em dados de correntes liberadas em casos reais de estruturas utilizam-nas quais se utilizou esse sistema de proteção, teores de cloretos e as classes de agressividade ambiental da ABNT NBR 6118 (2026).

Adicionalmente, uma parcela significativa do conhecimento disponível sobre o dimensionamento de ânodos de sacrifício é oriunda de pesquisas conduzidas por fabricantes desses materiais, que resultam, em grande parte, em recomendações práticas de projeto, como as apresentadas pela *Vector Corrosion Technologies* (2024). Estudos como os de Chess e Broomfield (2013), bem como o trabalho de Gomes (2025), também discutem a densidade de corrente liberada pelos ânodos e sua aplicação em métodos de dimensionamento. Recentemente foi publicada a ABNT NBR 17277 (2026) que incluiu um critério de dimensionamento de sistemas de proteção catódica galvânica em estruturas de concreto. O método proposto não considera explicitamente o teor de cloretos para estruturas existentes e classifica a agressividade ambiental com base na ABNT NBR ISO 9223 (2024), norma voltada à corrosão atmosférica de metais e ligas.

Diante desse contexto, e considerando a influência das diferentes variáveis adotadas pelos diversos métodos de dimensionamento de ânodos de sacrifício, este trabalho propõe uma análise comparativa entre o método proposto por Carmona *et al.* (2025), o método da normalização brasileira e o indicado pela empresa *Vector*. O objetivo é avaliar sua aplicação no dimensionamento desses sistemas, contribuindo para o avanço do conhecimento técnico e para o aprimoramento das práticas de projeto voltadas ao prolongamento da vida útil de estruturas de concreto expostas a ambientes agressivos, especialmente aqueles sujeitos ao ataque de cloretos nos quais a proteção catódica galvânica é indicada.

2. METODOLOGIA

Com o intuito de avaliar a influência de diferentes variáveis no dimensionamento de ânodos de sacrifício e, com isso, realizar uma comparação entre os três métodos abordados neste trabalho, foram escolhidos três cenários de exposição conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Cenários de projeto considerados.

Caso	Classe de agressividade ambiental (NBR 6118:2026)	Teor de cloretos (% sobre a massa de cimento)	Elemento	Armadura
1	CAA III	0,9	Parede armada	6 Ø12.5 c/20x20 cm
2	CAA IV	0,7		
3	CAA IV	1,5		

Fonte: Autores (2026).

A partir dessas considerações iniciais, foram padronizados, para todos os métodos de dimensionamento analisados, alguns parâmetros de referência. Adotou-se uma área de reparo de concreto com dimensões de 100 × 100 cm (1 m²), a área lateral de armadura calculada em 4.712 cm²/m², vida útil residual (VUR) de 20 anos e ânodos de zinco com massa de 60 g. As demais variáveis foram definidas de acordo com as premissas e procedimentos específicos propostos por cada método, os quais são apresentados nos itens a seguir.

2.1 Método proposto pela NBR 17277:2026

Como base na ABNT NBR 17277 (2026), para a proteção da área superficial da armadura na região de reparo e o dimensionamento de sistemas de proteção catódica por ânodos de sacrifício, é necessário considerar principalmente a densidade de corrente associada à condição do concreto e da armadura, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 -Valores práticos de densidade de corrente com base na ABNT NBR 17277

Densidade de corrente (μA/cm²)	Tipo de aplicação	Estruturas aéreas
0,2 a 0,7	Proteção catódica	Estruturas existentes, concreto seco e boa qualidade, alta espessura de cobrimento, presença de cloretos, armaduras com corrosão suave.
0,7 a 2,0	Proteção catódica	Estruturas existentes, concreto úmido e de baixa qualidade, espessura de cobrimento de intermediária a baixa, locais com temperatura ambiente elevada, presença de cloretos, armadura com corrosão acentuada.
Acima de 2,0	Proteção catódica	Estruturas existentes, concreto úmido, alta disponibilidade de oxigênio, altos teores de cloretos, baixa espessura de cobrimento, locais com temperatura ambiente mais elevada, corrosão severa nas armaduras, ambientes com níveis elevados de agressividade (C5 e CX da ABNT ISO 9223).

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 17277 (2026).

Buscou-se estabelecer uma correspondência entre as classes de agressividade ambiental da ABNT NBR 6118 (2026) e a classificação adotada no método baseado na ABNT NBR ISO 9223 (2024) para que fosse possível estabelecer as densidades de corrente para cada caso. Deve-se ressaltar que esta última norma se refere a ambientes associados à corrosão atmosférica de metais e ligas, não sendo diretamente aplicável a casos de corrosão em estruturas de concreto armado. O correto seria que a norma empregasse a classificação de agressividade ambiental da ABNT NBR 6118 específica para estruturas de concreto armado.

2.2 Método proposto *Vector Corrosion Technologies* (2024)

Para este método, as variáveis iniciais consideradas no dimensionamento de sistemas de proteção catódica com ânodos de sacrifício baseiam-se em critérios relacionados ao risco de corrosão e ao teor de cloretos presentes no concreto. A partir desses parâmetros, estabelece-se a adoção de um valor mínimo de densidade de corrente, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Critérios de projeto

Risco de corrosão	Teor de cloreto (% sobre a massa de cimento)	Densidade de corrente mínima de projeto* (μA/cm²)
Baixo a moderado	< 0,8	0,04
Alto	0,8 – 1,5	0,08
Extremamente alto	> 1,5	0,16

*Valores adotados conforme indicação do fabricante.

Fonte: Adaptado de *Vector Corrosion Technologies* (2024)

O método não leva em consideração a classificação da agressividade ambiental, simplesmente o teor de cloretos da estrutura existente.

2.3 Método proposto por Carmona *et al.* (2025)

Neste método, os valores de densidade de corrente foram definidos a partir das condições de exposição das estruturas de concreto, considerando a classe de agressividade ambiental estabelecida pela ABNT NBR 6118 (2026) e faixas de teor de cloretos existentes em estruturas analisadas. As classes de agressividade ambiental, as faixas de teores de cloretos e as densidades de corrosão consideradas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Densidades de corrente, conforme Carmona *et al.* (2025), para o caso de obras de reabilitação, em função da Classe de Agressividade Ambiental da ABNT NBR 6118, e contaminação do concreto por cloretos na profundidade da armadura.

Ambiente	Teor de cloretos na profundidade da armadura (% sobre a massa de cimento)	Densidade de corrente – ρ* (μA/cm²)
CAA III Temperatura e UR moderadas	< 0,8%	0,05
	entre 0,8% e 1,5%	0,1
	> 1,5%	0,2
CAA IV Temperatura e UR altas	< 0,8%	0,25
	Entre 0,8% e 1,5%	0,4
	> 1,5%	0,5

*Com aplicação de pintura/revestimento de proteção superficial

Fonte: Carmona *et al.* (2025)

A partir dos valores de densidade de corrente adotados, os seguintes passos foram adotados para realizar o dimensionamento de ânodos de sacrifício para proteção catódica:

$$i_r = \rho \, . A_1 \ (\mu A) \tag{1}$$

$$C_A = \frac{i_r \, . \, 10^{-6} \, . \, u}{n \, . \, F \, . \, k_e \, . \, k_u} \ (\frac{g}{ano}) \tag{2}$$

$$M_T = C_A \, . VUP \ (g) \tag{3}$$

$$M_T = C_A \, . VUR \ (g) \tag{4}$$

Onde:

i_r – Corrente representativa (μA);
ρ – Densidade de corrente, ver Tabela 4 ($\mu A/cm^2$);
A_l – Área lateral da armadura a ser protegida pelos ânodos (cm²);
C_A – Consumo de ânodo (g/ano);
u – Massa atômica do metal; para o zinco u = 65,39 (g/mol);
n – Valência do metal; para o zinco n = 2;
F – Constante de Faraday = 0,3060 . 10^{-2} ($anos \, . \, A/mol$);
k_e – Fator de eficiência = 0,9;
k_u – fator de utilização = 0,8;
VUP = Vida útil de projeto (anos);
VUR = Vida útil residual (anos);
M_T – Massa total de metal dos ânodos (g).

Com a quantidade de massa de ânodo identificada, para o cálculo do número e espaçamento dos ânodos foram adotados os seguintes passos:

$$N = \frac{M_T}{Mu}\ (\hat{a}nodos\ por\ m^2) \tag{5}$$

$$S = \sqrt{\frac{10000}{N}} \quad < \quad S_{máx} = 120\ .\ \sqrt{\frac{1}{10\ .\ \frac{A_l}{A_c}}} \quad < 60\ (cm) \tag{6}$$

Onde:

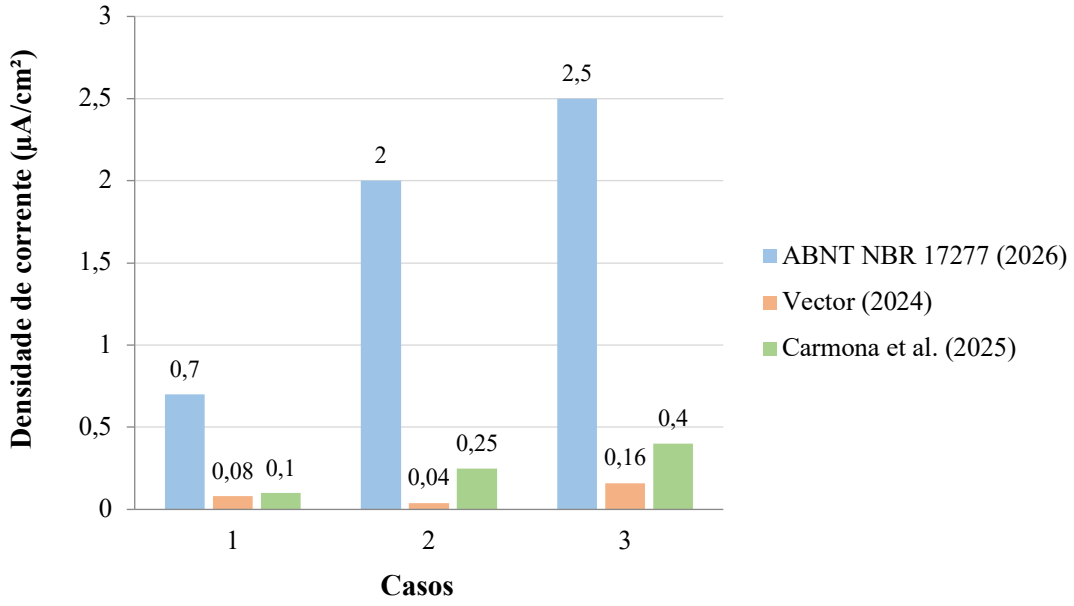
N – Número de ânodos (ânodos por m²);
M_T – Massa total de metal dos ânodos (g);
M_u– Massa de metal de um ânodo (g);
S – Espaçamento calculado dos ânodos (cm);
$S_{máx}$ – Espaçamento máximo dos ânodos < 60 (cm);
A_l – Área lateral da armadura a ser protegida pelos ânodos (cm^2/m^2);
A_c – Área de concreto em 1 m² = 100 . 100 = 10000 (cm²).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da metodologia adotada em cada abordagem, foram obtidos diferentes valores de densidade de corrente para os casos analisados. Para o método proposto pela ABNT NBR 17277 (2026), no Caso 1 (CAA III), adotou-se o menor valor da faixa de densidade de corrente recomendada (0,7 – 2,0 µA/cm²), correspondente a 0,7 µA/cm². Para o Caso 2 (CAA IV), foi considerado o valor de 2 µA/cm², enquanto, para o Caso 3 (CAA IV), adotou-se uma densidade de corrente de 2,5 µA/cm². No método proposto pela *Vector Corrosion Technologies* (2024), em função do teor de cloretos considerado em cada situação, foram obtidos os seguintes valores de densidade de corrente: para o Caso 1 (0,9%), 0,08 µA/cm²; para o Caso 2 (0,7%), 0,04 µA/cm²; e para o Caso 3 (1,5%), 0,16 µA/cm².

Por fim, com base no método proposto por Carmona *et al.* (2025), considerando-se a classe de agressividade ambiental e os teores de cloretos associados a cada caso, foram identificados os seguintes valores de densidade de corrente (µA/cm²): para o Caso 1 (CAA III e 0,9%), 0,1 µA/cm²; para o Caso 2 (CAA IV e 0,7%), 0,25 µA/cm²; e para o Caso 3 (CAA IV e 1,5%), 0,4 µA/cm². A Figura 1 reúne todos os valores de densidade de corrente e resultados para cada caso e método.

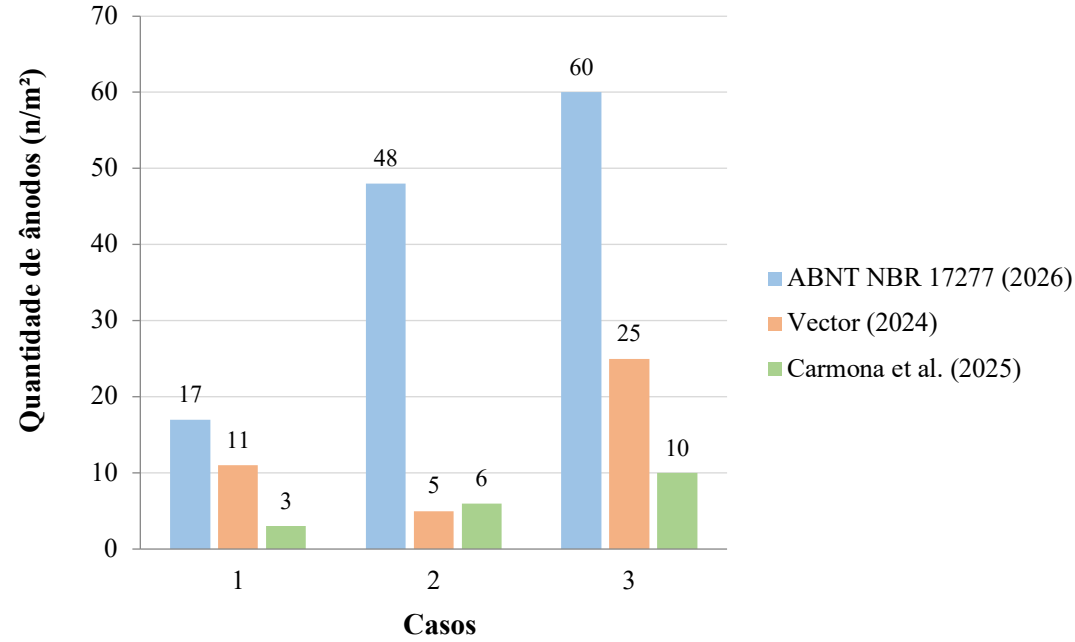
Figura 1 – Densidades de corrente obtidas para cada caso e método de dimensionamento de ânodos de sacrifício galvânicos



Fonte: Autores (2026)

Com base nos valores de densidade de corrente obtidos em cada método e nos parâmetros padronizados adotados para todas as abordagens – área de reparo, área superficial das armaduras, vida útil residual (VUR) e massa dos ânodos de zinco –, a quantidade de ânodos foi determinada seguindo as etapas estabelecidas em cada método de dimensionamento. A Figura 2 reúne as quantidades de ânodos calculadas por metro quadrado de região de reparo.

Figura 2 – Quantidade de ânodos (n/m²) obtida em cada método proposto



Fonte: Autores (2026)

A partir dos resultados obtidos, observa-se uma quantidade de 6 a 8 vezes mais metal de sacrifício por unidade de área (n/m²) estimada pelo método ABNT NBR 17277 (2026) em comparação com aquela determinada pelo método proposto por Carmona *et al.* (2025). Em comparação com o recomendado por *Vector Corrosion Technologies* (2024), os valores obtidos pelo método da ABNT NBR 17277 (2026) também resultam em quantidades de ânodos por m² superiores, sendo de 1,5 a 9 vezes maior.

Nota-se que a quantidade de metal de sacrifício pelo método recomendado por *Vector Corrosion Technologies* (2024) não acompanha o crescimento da agressividade e teor de cloretos conforme seria o esperado, os outros dois métodos NBR e Carmona seguiram um crescimento lógico da quantidade de metal de sacrifício em função da agressividade e teor de cloretos.

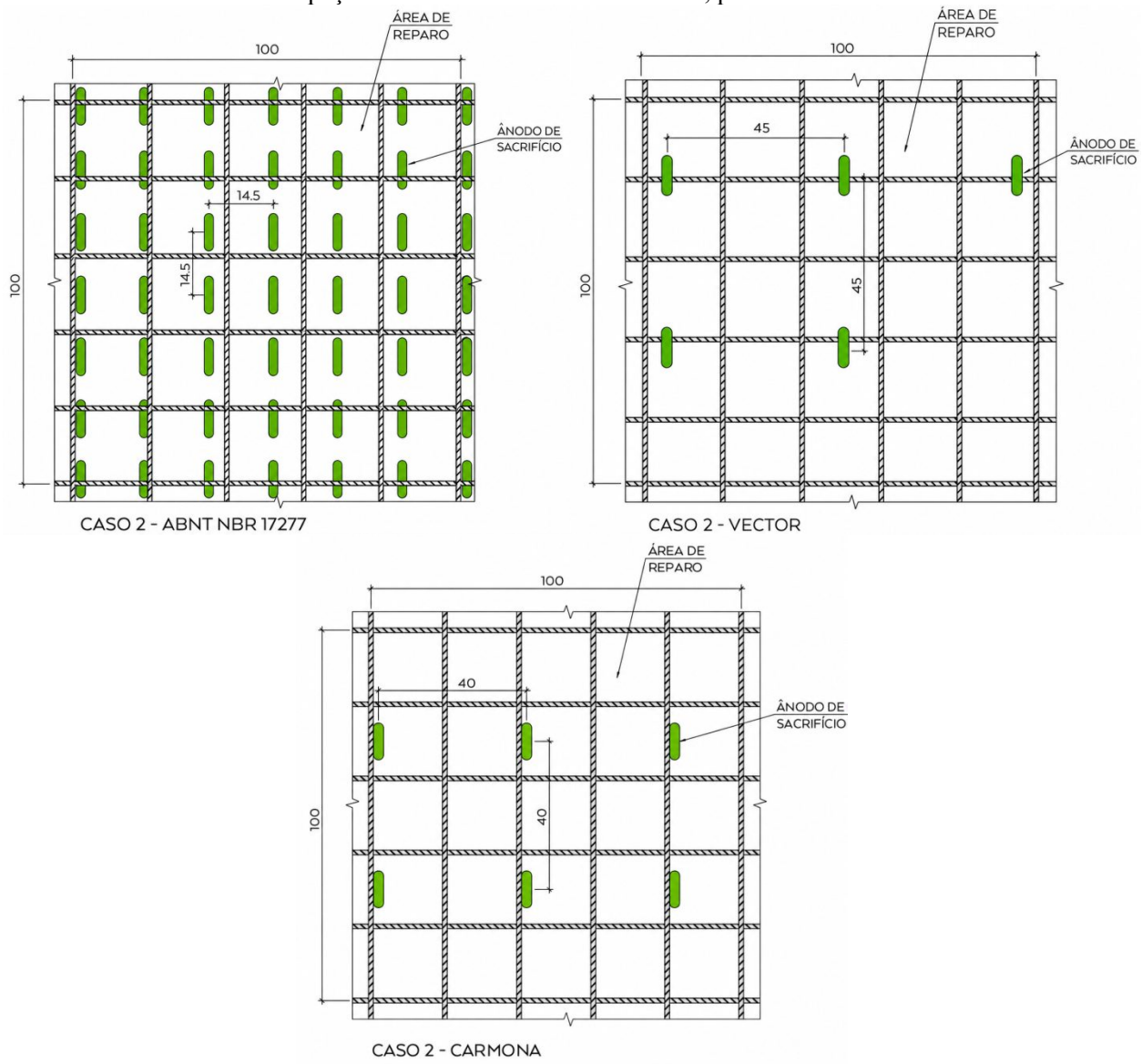
Por fim, com base na quantidade de ânodos de sacrifício obtida em cada método para os diferentes casos, a Tabela 5 apresenta o espaçamento entre os ânodos considerado de acordo com cada proposta de dimensionamento. Ademais, com o objetivo de exemplificar as diferenças de dimensionamento obtidas entre os métodos analisados, a Figura 3 ilustra a quantidade e o espaçamento entre os ânodos de sacrifício para o Caso 2.

Tabela 5 – Espaçamentos entre ânodos de sacrifício (cm)

Método	Casos		
	1	2	3
ABNT NBR 17277 (2026)	25x25	14,5x14,5	13x13
Vector Corrosion Technologies (2024)	30x30	45x45	20x20
Carmona; *et al.* (2025)	60x60	40x40	30x30

Fonte: Autores (2026)

Figura 3 – Comparação entre as diferentes propostas de dimensionamento, em relação à quantidade e espaçamento entre ânodos de sacrifício, para o caso 2



Fonte: Autores (2026)

4. CONCLUSÕES

A análise comparativa entre os métodos de dimensionamento de ânodos de sacrifício demonstrou diferenças relevantes nos valores de densidade de corrente e, consequentemente, na quantidade de ânodos necessária por metro quadrado de reparo.

Observa-se que o método proposto pela ABNT NBR 17277 (2026) resulta em densidade de corrente excessivamente grande em relação às obtidas pelos demais métodos, o que implica uma maior quantidade de ânodos necessária por área de reparo. Esse resultado não está alinhado com as pesquisas existentes que demonstram que as densidades de corrente para ânodos galvânicos são substancialmente menores às indicadas na norma.

Por outro lado, o método proposto por *Vector Corrosion Technologies* (2024), apresenta valores de densidade de corrente coerentes aos obtidos em outras pesquisas da área, definidos em função

do teor de cloretos. Embora essa metodologia correlacione diretamente o teor de cloretos observado, não considera a classe de agressividade ambiental à qual a estrutura está exposta, fator que pode influenciar significativamente na velocidade de corrosão e, portanto, na densidade de corrente necessária para a proteção. Isso ocorre porque a densidade de corrente necessária para a proteção catódica está diretamente relacionada ao comportamento eletroquímico, sendo influenciada por parâmetros como resistividade elétrica do concreto, disponibilidade de oxigênio e concentração de íons cloreto na região da armadura.

O método proposto por Carmona *et al.* (2025) demonstra maior sensibilidade às condições reais de exposição das estruturas, considerando simultaneamente a classe de agressividade ambiental e o teor de cloretos na profundidade da armadura.

Dessa forma, observa-se que a aplicação do método da ABNT NBR 17277 (2026) resulta em quantidades significativamente superiores de metal de sacrifício por metro quadrado de reparo, podendo alcançar valores até cerca de 15 vezes maiores quando comparados aos métodos propostos por Carmona *et al.* (2025) e pela *Vector Corrosion Technologies* (2024).

De forma geral, os dois métodos Carmona *et al.* (2025) e *Vector Corrosion Technologies* (2024) se mostram adequados para o dimensionamento de sistemas de proteção reais, enquanto o método da ABNT NBR 17277 (2026) necessita de revisão, por resultar em quantidades excessivas de metal de sacrifício por metro quadrado de reparo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17277: **Proteção catódica de armaduras de aço-carbono em estruturas de concreto — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9223: **Corrosão de metais e ligas - Corrosividade de atmosferas - Classificação, determinação e estimativa**. Rio de Janeiro, 2024.

BROUSSEAU, R.; BALDOCK, B. **Laboratory Study of Sacrificial Anodes for Reinforced Concrete**. Corrosion, vol. 54, nº 03, 1 mar. 1998.

CARMONA, Antônio; CARMONA, Thomas; CARMONA, Tiago; AGOSTINHO, Thales. **Estimativa de vida útil de ânodos de sacrifício incorporados em reparos – revisão de casos de monitoramento em obras e proposta de critério de cálculo**. 9 out. 2025. DOI: https://doi.org/10.21041/CONPAT2025/V3RC43.

CARMONA ET AL. **Durabilidade de Ânodos de Sacrifício Incorporados em Reparo de Estacas de Concreto Armado em Zona de Variação de Maré**: CONPAT, Lisboa (Portugal), 2015.

CHESS, Paul M.; BROOMFIELD, John P. **Cathodic Protection of Steel in Concrete and Masonry, Second Edition**: CRC Press, 25 out. 2013. 262 p.

GOMES, Luiz Paulo. **Dimensionamento prático de anodos galvânicos para proteção catódica de armaduras de estruturas de concreto**. Brazilian Journal of Development, vol. 11, nº 8, p. e81496–e81496, 12 ago. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.34117/bjdv11n8-011.

HU, J. Y.; ZHANG, S. S.; CHEN, E.; LI, W. G. **A review on corrosion detection and protection of existing reinforced concrete (RC) structures**. Construction and Building Materials, vol. 325, p. 126718, 28 mar. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126718.

RICKER, Ben; HAIXUE, Liao; NIE, Max. **Performance of Distributed Galvanic Anode Systems in Bridge Structures**. 19 mar. 2023. Disponível em: https://dx.doi.org/10.5006/C2023-19214.

WHITMORE, David; SERGI, George. **Long-term Monitoring Provides Data Required to Predict Performance and Perform Intelligent Design of Galvanic Corrosion Control Systems for Reinforced Concrete Structures**. 19 abr. 2021. Disponível em: https://dx.doi.org/10.5006/C2021-16712.

CAPÍTULO 60 · Parte IV · Qualidade e normatização
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/r4fm1m09
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/4n1jj586

ESTIMATIVA DE CUSTOS DE MANUTENÇÕES PREVENTIVAS, NOS PRIMEIROS CINCO ANOS DE EDIFICAÇÕES TÉRREAS UNIFAMILIARES

Fábio Júnior de Melo Gafski[1], Fernanda Pacheco[2]*; Sérgio Klippel Filho[2]; Roberto Christ[2]
*Autor de contato: fernandapache@unisinos.br
[1] Pós graduação em Patologia e perícia das construções, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil
[2] Instituto tecnológico em desempenho e construção civil, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil

RESUMO

A ausência de manutenções preventivas contribui significativamente para o surgimento precoce de manifestações patológicas e perda de desempenho das edificações, consequentemente impactando na Vida Útil de Projeto, isso é muito visível em habitações de interesse social, como as do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV). Este trabalho visa estimar o custo percentual das manutenções preventivas realizadas pelos usuários nos cinco primeiros anos em habitações térreas unifamiliares, do MCMV. A pesquisa baseia-se em dados fornecidos por empresas, considerando o valor de mercado das unidades e os custos diretos (materiais e mão de obra) das manutenções preventivas. A metodologia contempla a análise da manutenção prevista e a tomada de preço para a realização desses serviços. Os resultados obtidos identificam a necessidade de reserva financeira equivalente a 0,11% ao mês, 1,32% ao ano e 6,60% no período de cinco anos, em relação ao valor de compra do imóvel, visando garantir condições financeiras para a manutenção e conservação do imóvel.
Palavras-chave: manutenção, custos, edificações de interesse social.

ABSTRACT

The absence of preventive maintenance significantly contributes to the early onset of pathological manifestations and loss of building performance, consequently impacting Design Service Life. This is very visible in social housing, such as those in the Minha Casa Minha Vida (MCMV) program. This work aims to estimate the percentage cost of preventive maintenance performed by users in the first five years of single-family, ground-floor dwellings in the MCMV program. The research is based on data provided by companies, considering the market value of the units and the direct costs (materials and labor) of preventive maintenance. The methodology includes the analysis of planned maintenance and price quotes for these services. The results obtained identify the need for a financial reserve equivalent to 0.11% per month, 1.32% per year, and 6.60% over a five-year period, in relation to the purchase value of the property, guarantee financial conditions for the maintenance and conservation of the property.
Keywords: maintenance, costs, social housing.

1. INTRODUÇÃO

Na engenharia civil, o termo *patologia das edificações* refere-se ao estudo das manifestações anômalas que afetam o desempenho, a segurança e a estética das construções. O objetivo do estudo da patologia nas edificações é identificar a natureza e as causas dessas ocorrências, avaliar a gravidade e propor medidas corretivas, além de desenvolver métodos cada vez mais eficientes para evitar o quadro patológico tanto em estruturas existentes quanto em novas edificações. Essa compreensão colabora com a visão de Thomaz (2012), que define a patologia das construções como o estudo das causas, mecanismos e consequências das anomalias construtivas, voltado à sua prevenção e correção, de modo a assegurar o desempenho e a durabilidade da edificação ao longo de sua vida útil.

O impacto das incidências patológicas nas edificações não deve ser negligenciado, a falta de manutenções preventivas adequadas leva a necessidade de manutenções corretivas e esses por sua vez, se não realizadas tendem a reduzir a VUP (Vida Útil de Projeto), podendo ir além da estética do imóvel, comprometendo os sistemas que compõem a edificação (FERREIRA; OLIVEIRA, 2021), reduzindo o desempenho ou tornando ineficiente, já em um nível mais elevado, o impacto pode afetar elementos estruturais, gerando riscos a segurança dos habitantes da edificação e do seu entorno.

Considerando a maior parte das edificações, a importância das manutenções não costuma ser tratado com a devida importância, mesmo que em muitos casos os proprietários saibam da necessidade. A ABNT NBR 5674:2021 trata da gestão da manutenção como elemento essencial para preservar a VUP (Vida Útil de Projeto), a não observância das manutenções está ligado diretamente às garantias do imóvel pela construtora, mesmo que a ABNT NBR 15575:2021, em conjunto com a ABNT NBR 17170:2022, estabeleçam parâmetros de desempenho e diretrizes para prazos de garantia, se o proprietário não cumprir com suas obrigações no cuidado da edificação, pode ter sua solicitação de assistência técnica não atendida e perder da garantia.

Mahpour (2023) cita a relevância da manutenção, indicando que são vitais para garantia do ciclo de vida completo da edificação, e que, apesar de muito importante, demanda uma previsão orçamentária, de forma a embasar e preparar a realização das tarefas.

O objetivo desse estudo é contribuir com a análise do custo da manutenção, buscando difundir no meio técnico essa informação que pode auxiliar no entendimento da manutenção e na previsão financeira das pessoas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Patologia das edificações

Os danos patológicos das edificações são anomalias que podem ter origem em falhas de projeto, execução inadequada, uso de materiais de baixa qualidade. Pode-se destacar a ausência de manutenções preventivas como um dos fatores mais comuns. Porém, cabe citar que a combinação de um ou mais destes fatores pode acelerar significativamente do quadro patológico.

O envelhecimento endógeno, também chamado de envelhecimento intrínseco, refere-se à degradação natural e inevitável dos materiais e sistemas construtivos ao longo do tempo, mesmo quando não há agentes externos agressivos ou uso indevido da edificação. Esse processo ocorre devido às propriedades físico-químicas dos materiais e às interações internas dos componentes da edificação, como ressecamento de PVC e borrachas ao longo do tempo. Esse efeito de

envelhecimento natural deve ser previsto, para que durante o período de VUP (Vida Útil de Projeto) atenda com desempenho satisfatório, atendendo às normativas vigentes na aprovação do projeto.

O envelhecimento exógeno ocorre devido a um envelhecimento da edificação em contato com agentes externos, podendo ser de natureza química, física ou biológica. Dentre esses itens podem ser citados a ação de água, dióxido de carbono (CO2), ação de íons cloreto, fungos e bolores. (SOUZA; RIPPER, 1998)

2.2. Manutenções

A manutenção preventiva é a forma mais eficiente, menor tempo e de menor custo, para garantir a durabilidade e o desempenho das edificações ao longo da VUP (Vida Útil de Projeto), evitando intervenções corretivas, no qual mesmo quando conseguem ser eficientes devolvendo as condições ideais a edificação, necessitam de maior tempo e maior custo. (BOTTEGA et al, 2022). Além disso, principalmente se a edificação está habitada, tendem a ter um impacto na logística diária dos moradores, em alguns casos por se tratar de uma medida emergencial não planejada, tende a gerar transtornos maiores.

A ABNT NBR 5674:2021 estabelece que cada edificação deve possuir um plano de manutenção, contemplando atividades, periodicidade e responsabilidades, sendo parte destas atribuídas ao proprietário a partir do aceite do imóvel. No contexto de habitações de interesse social, onde maior parte da população possui restrições orçamentárias, a ausência de uma cultura prevencionista, acarreta necessidades de manutenções corretivas e consequentemente mais onerosas, podendo representar um impacto significativo no orçamento familiar, como consequência disso, tendendo a ser negligenciado ou tratado apenas de maneiras paliativas, reduzindo a VUP (Vida Útil de Projeto). De acordo com essa norma, as ações preventivas devem ser programadas conforme a criticidade de cada sistema e suas respectivas condições de exposição e uso. A periodicidade deve ser definida com base nas orientações do Manual de Uso, Operação e Manutenção da Edificação, conforme previsto na ABNT NBR 14037:2011, e pode envolver inspeções visuais, limpezas, reaplicações de materiais de proteção, lubrificação de componentes móveis e substituições periódicas de elementos sujeitos a desgaste natural, entre outros.

A manutenção corretiva é caracterizada pela intervenção reativa executada após a ocorrência de uma falha, degradação ou perda de desempenho de um componente ou sistema construtivo. Segundo a ABNT NBR 5674:2021, essa modalidade tem como finalidade restabelecer as condições originais de uso, funcionalidade, segurança e estética da edificação. A norma diferencia dois tipos principais de manutenção corretiva:

A) Corretiva Emergencial: Aplicada quando há risco imediato à segurança, salubridade ou funcionamento do imóvel, exigindo intervenção rápida (como rompimento de tubulação ou infiltrações severas).

B) Corretiva Programada: Adotada quando a falha não apresenta risco imediato, permitindo diagnóstico técnico e planejamento da intervenção (por exemplo, substituição de revestimentos danificados ou recalafetação de juntas de vedação).

A dependência excessiva de manutenções corretivas indica ausência de gestão preventiva e gera consequências econômicas e ambientais significativas. A ausência de manutenções preventivas

contribui significativamente para o surgimento precoce de manifestações patológicas e perda de desempenho das edificações, conforme apontam Thomaz (2012) e Souza e Ripper (1998), que destacam a manutenção como elemento essencial para a durabilidade e o desempenho ao longo da vida útil de projeto.

2.2.1 Custo da manutenção

Do ponto de vista do custo da manutenção no escopo do programa MCMV, Cardoso, Grando e Santos (2020) chegaram na faixa 1 do programa a um comprometimento de renda de 24,56% para manutenção e operação do imóvel, sendo um valor de impacto nos orçamentos familiares, especialmente em famílias com renda de acordo com tal faixa.

Cabe destacar que esses valores consideram que a manutenção estaria sendo feita mês a mês, cenário raramente presente nas edificações habitacionais multiusuário, conforme destaca Machado (2023), ao reforçar a necessidade de uma reserva financeira para essas intervenções.

Além disso, cabe ser citado que os estudos em comum versam sobre o custo da manutenção prevista na fase de projeto, e não necessariamente nas intervenções corretivas necessárias. Rodrigues e Rossetto (2019) chegaram a valores corretivos de mais de R$100 mil reais em edificações do MCMV com apenas dois anos de uso.

Assim sendo, nota-se uma necessidade latente do entendimento desse custo, assim como a realização ainda em caráter preventivo.

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição da Empresa

A empresa no qual a pesquisa se desenvolveu é no momento categorizada como médio porte, atuando em cidades da região do Vale do Rio dos Sinos, região pertencente ao estado do Rio Grande do Sul.

3.2. Descrição do Empreendimento

As unidades residenciais pertencentes ao empreendimento base dessa pesquisa, são casas térreas executadas conforme sistemas detalhados:

A) ESTRUTURA: Estacas, vigas de baldrame, alvenaria estrutural de bloco cerâmico, laje de concreto armado em todos os cômodos e telhado composto por telhas cerâmicas.

B) REVESTIMENTO EXTERNO: Paredes revestidas com chapisco, reboco, riscado, uma demão de selador e duas demãos de pintura. Piso da área em porcelanato e piso da garagem em concreto. As janelas são em alumínio e nos dormitórios as janelas possuem persianas em PVC. As portas são de madeira maciça.

C) REVESTIMENTO INTERNO: Paredes revestidas com chapisco, reboco, massa niveladora, uma demão de selador e duas demãos de pintura. Piso em porcelanato em todos os cômodos exceto nos dormitórios onde são entregues apenas no contrapiso. As portas são de madeira semioca.

3.3. Manual do usuário

O Manual do Proprietário fornecido pela Construtora, tem como principal objetivo orientar os moradores quanto ao uso adequado e à manutenção preventiva da edificação, em conformidade com as diretrizes das normas ABNT NBR 14037:2011 - Manual de uso, operação e manutenção das edificações e ABNT NBR 5674:2021 - Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Essas orientações têm caráter técnico e prático, buscando auxiliar o proprietário a preservar o desempenho, durabilidade e segurança da edificação, além de garantir o cumprimento da VUP (Vida Útil de Projeto) prevista pela norma ABNT NBR 15575:2021. O manual define as ações de conservação que devem ser executadas pelos proprietários, indicando a periodicidade e os cuidados específicos a serem adotados em cada sistema construtivo.

3.4. Estimativa dos custos

A estimativa de custo foi elaborada com base nas principais orientações contidas no Manual do Proprietário fornecido pela construtora, contemplando as ações necessárias para a conservação e o bom desempenho da edificação. Os percentuais indicados foram obtidos a partir de orçamentos individuais de cada serviço de manutenção, considerando o custo total — composto por materiais e mão de obra — em relação ao valor de compra do imóvel.

A análise foi conduzida com base em orçamentos reais obtidos junto a fornecedores e prestadores de serviços da região de Cachoeirinha–RS, abrangendo materiais e mão de obra, conforme as recomendações de manutenção constantes no Manual do Proprietário do empreendimento. Os quantitativos foram elaborados com base nos projetos, cedidos pela construtora. Os valores orçados contemplaram exclusivamente as manutenções de responsabilidade do proprietário, desconsiderando itens cobertos por garantias técnicas e legais das construtoras, conforme estabelecido pela ABNT NBR 17170:2022 e pela ABNT NBR 5674:2021. Foram consideradas exclusivamente as manutenções indicadas no manual.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo teve como objetivo identificar o percentual de reserva financeira necessária para a realização das manutenções preventivas em edificações térreas unifamiliares, no período correspondente aos primeiros cinco anos após a entrega do imóvel.

4.1. Estimativa por tarefas de manutenção

Os Quadros 01 e 02 apresentam o planejamento das manutenções preventivas anuais recomendadas ao proprietário.

Quadro 1 – Plano de manutenções preventivas no 1ºano, 3ºano e 5º ano

ID	Sistema / Elemento	Atividade Preventiva Recomendada	Periodicidade	% Média do Valor de Compra
01	Caixa de gordura e ralos	Limpeza completa.	Trimestral	0,203%
02	Caixa d’água	Limpeza e desinfecção.	Semestral	0,109%
03	Calhas e telhas	Inspeção e limpeza.	Semestral	0,113%

04	Esquadrias de alumínio	Limpeza dos trilhos, lubrificação, vedação e apertos.	Semestral	0,127%
05	Instalações elétricas	Teste dos disjuntores e DR	Semestral	0,179%
06	Louças e metais sanitários	Verificação de vazamentos e reapertos	Anual	0,049%
07	Revestimentos e rejuntes	Reposição de rejuntes.	Anual	0,128%
08	Impermeabilizações	Verificação de juntas e selantes	Anual	0,047%
09	Estrutura e alvenaria	Inspeção técnica visual	Anual	0,170%
Total				1,13%

Fonte: autores (2026)

Quadro 2 – Plano de manutenções preventivas no 2ºano e 4º ano

ID	Sistema / Elemento	Atividade Preventiva Recomendada	Periodicidade	% Média do Valor de Compra
01	Caixa de gordura e ralos	Limpeza completa.	Trimestral	0,203%
02	Caixa d'água	Limpeza e desinfecção.	Semestral	0,109%
03	Calhas e telhas	Inspeção e limpeza.	Semestral	0,113%
04	Esquadrias de alumínio	Limpeza dos trilhos, lubrificação, vedação e apertos.	Semestral	0,127%
06	Louças e metais sanitários	Verificação de vazamentos e reapertos	Anual	0,049%
07	Revestimentos e rejuntes	Reposição de rejuntes deteriorados.	Anual	0,128%
08	Impermeabilizações	Verificação de juntas e selantes	Anual	0,047%
09	Estrutura e alvenaria	Inspeção técnica visual	Anual	0,170%
10	Instalações elétricas	Revisão geral.	Bienal	0,077%
11	Pintura geral	Tratamento de eventuais fissuras e pintura geral.	Bienal	0,500%
12	Instalações de gás	Teste de estanqueidade	Bienal	0,074%
Total				1,60%

Fonte: autores (2026)

A partir da consolidação dos orçamentos obtidos, elaborou-se uma planilha de controle anual, contendo os percentuais médios de manutenção preventiva, com base no valor de compra do imóvel. O resumo dos resultados é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3- Planejamento financeiro para manutenções preventivas (1º ao 5º ano da edificação)

Descrição	Valor
Percentual médio de reserva mensal	0,11 %
Percentual médio de reserva anual	1,32 %
Percentual médio de reserva para cinco anos	6,60 %

Fonte: autores (2026)

O valor médio percentual do imóvel representa o montante necessário para manter as condições adequadas de uso e desempenho da edificação, conforme orienta a ABNT NBR 5674:2021, que estabelece a manutenção preventiva como requisito essencial à conservação da vida útil de projeto.

Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram coerência com os parâmetros verificados em estudos anteriores sobre edificações residenciais de padrão similar. Trabalhos recentes, como os de Silva (2023) e Gomes (2023), apontam percentuais acumulados de até 4,00% do valor do imóvel nos cinco primeiros anos, quando consideradas todas as manutenções preventivas. No entanto, ao restringir a análise apenas às ações de responsabilidade do proprietário, os valores encontrados se situam entre 0,60% e 1,50% ao ano, intervalo que abrange o resultado obtido nesta pesquisa.

O percentual médio obtido neste estudo foi de 1,32% ao ano, o que representa uma reserva média mensal de 0,11% e um acumulado de 6,60% para o período de cinco anos. Apesar de estudos recentes possuírem padrão construtivo semelhante (condomínio fechado e médio padrão), destaca-se que a presente pesquisa adota uma metodologia diferente, onde o cálculo foi realizado com base no valor de compra do imóvel, enquanto, em trabalhos como o de Weber (2023), o referencial utilizado foi o custo de execução da obra. Essa diferença metodológica justifica variações percentuais, uma vez que o valor de mercado normalmente incorpora margens comerciais, tributos e custos indiretos.

De modo geral, o investimento regular mensal para criação de uma reserva estratégica de manutenções preventivas, representa uma fração reduzida do valor do imóvel, mas é determinante para garantir a durabilidade e o desempenho da edificação. O percentual obtido (1,32% ao ano) está alinhado com as faixas indicadas por Souza e Helene (2008) e pela ABNT NBR 5674:2021, que recomendam reservas anuais entre 0,5% e 1,5% do valor de reposição para edificações residenciais.

Analisando a perspectiva já apresentado no estudo de Rodrigues e Rossetto (2019), as retiradas de recurso para manutenção corretiva superam em muito o valor das preventivas, devendo-se sempre preconizar pelo planejamento correto das ações.

É importante ressaltar que o percentual apresentado nesse estudo, não contempla a atualização monetária. Assim, recomenda-se que o valor reservado seja aplicado em instrumentos financeiros de rendimento igual ou superior à inflação, preservando o poder de compra ao longo do tempo. Como alternativas práticas, podem ser utilizados mecanismos de investimento com liquidez e baixo risco, como o Tesouro Selic ou as ferramentas de reserva personalizadas oferecidas por bancos digitais, conhecidas popularmente como “cofrinhos”. Essa prática assegura que os recursos destinados à manutenção não tenham seus aportes desvalorizados pela inflação e estejam disponíveis quando as intervenções se fizerem necessárias.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa visou contribuir com a estimativa de custos da manutenção de edificações. Para tal, baseou-se em dados sigilosos de valor total do empreendimento, e na estimativa de custos das manutenções previstas no manual do usuário e ancoradas por norma.

Os resultados obtidos destacam que, apesar de em pequenos percentuais, considerando valores possíveis dos imóveis do programa MCMV, de por exemplo R$275mil reais (valor máximo para a faixa 2), o valor anual de manutenção será de aproximadamente 2,2 salários-mínimos, o que pode comprometer o orçamento familiar.

Dessa forma, os resultados obtidos neste trabalho permitem auxiliar os proprietários, através de uma estratégia de criação de reserva de manutenções preventivas residenciais e ainda reforça a importância de uma gestão financeira preventiva como instrumento de garantia da durabilidade, segurança e valorização do imóvel ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14037: Manual de uso, operação e manutenção das edificações – Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17170: Diretrizes para elaboração de garantias de edificações habitacionais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BOTTEGA, G.S.S; ROSCOFF, N.; PILZ, S.E; DALCANTON, F; COSTELLA, M.F. **Manutenção predial com ênfase em sistemas hidrossanitários: revisão sistemática da literatura.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 27, n. 3, p. 435–443, maio/jun. 2022. DOI: 10.1590/S1413-415220190332.

BRASIL. **Código Civil. Lei nº 10.406**, de 10 de janeiro de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, 2002.

BRASIL. **Código de Defesa do Consumidor. Lei nº 8.078**, de 11 de setembro de 1990. Diário Oficial da União, Brasília, 1990.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil: Cálculos e parâmetros de composição de custos da construção civil. Brasília: Caixa, 2024.

CARDOSO, L.R.A; GRANDO, R.A; SANTOS, L.C. O impacto dos custos de operação e manutenção predial de habitações de interesse social. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

ESCOBAR, T;R;R; POSSAN, E; PUNHAGUI, K.R.G. Manual do proprietário: ferramenta indispensável na entrega de obra. Revista Técnico-Científica do CREA-PR, 35ª edição, maio 2024. ISSN 2358-5420.

FERREIRA, A.R.; OLIVEIRA, R.F. **Patologias na construção civil: estudo de caso em duas residências na cidade de Iraí de Minas – MG**. GETEC – Revista de Engenharia, v. 10, n. 26, p. 1–16, 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores de inflação e construção civil. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: 18 out. 2025.

MACHADO, A.D.N. 2023 Estudo de caso de gestão condominial [manuscrito]: levantamento de custos com manutenção e reforma de um edifício residencial multifamiliar de 1982. MacMonografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil

MAHPOUR, A. **Building Maintenance Cost Estimation and Circular Economy: The Role of Machine-Learning**, Sustainable Materials and Technologies, 37, 2023.

RODRIGUES, T.H; ROSSETTO, H.L. Análise de custos gerados pelas manutenções corretivas pós obra. V Congresso de Ensino de Graduação. UFPEL, 2019.

SANTOS, J.M. **Custos de manutenção preventiva em edificações residenciais unifamiliares térreas.** 2023. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2023.

SILVA, A. C. **Análise dos custos de manutenção preventiva em habitações unifamiliares populares.** 2023. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

SOUZA, V.C.M; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1998.

THOMAZ, E. **Prevenção das patologias das construções**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2012.

WEBER, J. **Projeção dos custos de manutenção preventiva nos primeiros cinco anos de vida útil de uma edificação residencial multifamiliar – estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), 2023.

CAPÍTULO 61 · Parte IV · Qualidade e normatização
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/yc635b66
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/ea3cbv90

A FALTA DE MEDIDAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO COMO PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES: FUNDAMENTOS, EVIDÊNCIAS E PROPOSTAS PARA O APRIMORAMENTO DA CULTURA DE SEGURANÇA NO BRASIL

Ronaldo Aparecido Ribeiro

ronaldoribeiro.cap@yahoo.com

Centro de Altos Estudo de Segurança Pública, São Paulo, Brasil

RESUMO

Este artigo discute, com base técnico-científica e metodológica, se a ausência ou insuficiência de medidas de segurança contra incêndio (MSCI) constitui uma patologia da edificação. Articulando os conceitos de segurança contra incêndio e patologia das edificações, adota-se metodologia documental e analítica, com revisão de casos paradigmáticos nacionais e internacionais -Joelma, Boate Kiss, Ultracargo/Santos e Luton/Inglaterra- e análise de evidências quantitativas sobre o processo de regularização no Estado de São Paulo (taxa de licenciamento ≈ 28,5%). Argumenta-se que a ausência de medidas passivas, ativas e organizacionais configura condição patológica, expondo vidas, patrimônio e meio ambiente. Destaca-se o momento normativo atual, impulsionado pela inserção de veículos movidos a novas energias no mercado nacional e pela revisão normativa conduzida em parceria entre indústria, entidades representativas, universidades e Corpos de Bombeiros. Propõem-se recomendações normativas, de fiscalização, capacitação e pesquisa aplicada, concluindo pela necessidade de integração entre a segurança contra incêndio e os estudos de patologia das edificações, com compartilhamento de conceitos, métodos de avaliação e instrumentos de diagnóstico para identificar, tratar e prevenir sistematicamente a “doença”, ou, ausência de proteção contra incêndio.

Palavras-chave: segurança contra incêndio; patologia das edificações; eletromobilidade; políticas públicas; fiscalização.

ABSTRACT

This article discusses, on a technical-scientific and methodological basis, whether the absence or insufficiency of fire safety measures (FSM) constitutes a building pathology. Articulating the concepts of fire safety and building pathology, a documentary and analytical methodology is adopted, encompassing a review of landmark national and international cases — Joelma, Boate Kiss, Ultracargo/Santos, and Luton/England — as well as an analysis of quantitative evidence on the building regularization process in the State of São Paulo (licensing rate ≈ 28.5%). It is argued that the absence of passive, active, and organizational measures constitutes a pathological condition, exposing lives, assets, and the environment to risk. Attention is drawn to the current regulatory landscape, driven by the introduction of new-energy vehicles into the national market and by normative revision carried out in partnership among industry, representative bodies, universities, and Fire Departments. Normative, inspection, professional training, and applied research recommendations are proposed, concluding with the need for integration between fire safety and building pathology studies, through the sharing of concepts, assessment methods, and diagnostic tools to systematically identify, treat, and prevent the "disease" — that is, the absence of fire protection measures.
Keywords: fire safety; building pathology; electromobility; public policies; inspection.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e motivação

A segurança contra incêndio (SCI) reúne medidas projetuais, construtivas, de detecção, supressão e gestão operacional destinadas a prevenir incêndios, limitar sua progressão e proteger vidas, patrimônio e meio ambiente. A patologia das edificações, por sua vez, estuda as "doenças" dos edifícios – manifestações, causas e correções de falhas que comprometem o desempenho, a durabilidade e a segurança das construções (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019). A interação entre ambas as áreas é central: uma edificação sem medidas de segurança contra incêndio (MSCI) adequadas apresenta sintomas e mecanismos de falha compatíveis com a definição técnica de patologia, ainda que não exiba, em um primeiro momento, manifestações físico-construtivas clássicas como fissuras ou recalques. Esse cenário cria uma oportunidade singular para discutir a ausência de SCI não apenas como descumprimento normativo, mas como patologia edificatória que afeta a "saúde" da construção. A analogia com o corpo humano – um edifício sem SCI comparado a um organismo sem sistema imunológico – torna a discussão mais inteligível tanto para o meio técnico quanto para a sociedade.

1.2 Questão de investigação

A pergunta central que orienta este trabalho é a seguinte: a falta de sistemas de segurança contra incêndio – compreendendo a inexistência ou inadequação de medidas passivas, ativas e organizacionais (brigada de incêndio, manutenção, plano de emergência) – pode ser considerada, em rigor técnico e conceitual, uma patologia das edificações, com implicações para o projeto, a operação, a fiscalização e as políticas públicas? Responder a essa questão implica articular conceitos, analisar casos reais, examinar dados quantitativos de regularização de edificações, discutir marcos legais (como a Lei Kiss) e avaliar experiências recentes de atualização normativa associadas às novas tecnologias.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste artigo é demonstrar, por meio de fundamentação conceitual, evidências empíricas e análise normativa, que a ausência ou insuficiência de SCI constitui uma patologia da edificação. Como objetivos específicos, pretende-se:

a) conceituar segurança contra incêndio e patologia das edificações, evidenciando a relação intrínseca entre ambos os campos;

b) apresentar exemplos históricos de grandes incêndios nacionais e internacionais (Joelma, Boate Kiss, Ultracargo/Alemoa, Luton/Inglaterra), destacando a correlação entre falta de SCI e severidade dos sinistros;

c) aplicar resultados de estudo específico sobre regularização de edificações no Estado de São Paulo (PINTO, 2024), demonstrando a existência de uma "cifra oculta" de edificações sem licenciamento e discutindo suas implicações como manifestação patológica em larga escala;

d) analisar a importância da Lei nº 13.425/2017 (Lei Kiss), em especial do seu Art. 8º, que determina a inclusão de conteúdos de SCI em cursos de Engenharia, Arquitetura, tecnologia e ensino médio correlatos, como instrumento de mitigação dessa patologia;

e) avaliar o momento oportuno representado pela introdução da eletromobilidade e de sistemas SAVE, demonstrando como a conjugação entre profissionais, entidades governamentais e privadas pode gerar regulamentação pioneira, tecnicamente embasada e reconhecida internacionalmente;

f) propor recomendações técnico-normativas, de fiscalização, de capacitação e de cultura de segurança para que a falta de SCI seja tratada sistematicamente como patologia das edificações.

1.4 Justificativa

Do ponto de vista técnico, edificações sem MSCI adequada apresentam vulnerabilidade intrínseca à ação do fogo, com risco acrescido de colapso estrutural precoce, inviabilização de rotas de fuga, propagação rápida de fumaça e calor e, consequentemente, aumento da probabilidade de vítimas fatais. Do ponto de vista institucional, estudos como o de Pinto (2024) evidenciam que a taxa de edificações regularizadas junto ao Corpo de Bombeiros ainda é reduzida, mesmo em estados que possuem regulamentação consolidada, como São Paulo. Do ponto de vista social, episódios como a Boate Kiss e o Edifício Joelma mostram que a ausência de MSCI não é problema abstrato: traduz-se em mortes de pessoas – que podem ser compreendidas metaforicamente como a "alma" da edificação – e em destruição de patrimônios construídos ao longo de décadas. Do ponto de vista ambiental, eventos como o incêndio da Ultracargo/Alemoa mostram que sinistros em instalações vulneráveis podem gerar contaminação de rios, estuários e do mar, com mortandade de peixes, danos à biota e aplicação de multas milionárias (MINISTÉRIO PÚBLICO/SP, 2016; G1, 2016). Esse conjunto de elementos justifica o enquadramento da falta de MSCI como patologia e a necessidade de ações estruturadas para o seu diagnóstico, tratamento e prevenção, em sintonia com o que já se pratica em relação a patologias construtivas tradicionais.

2. METODOLOGIA

2.1 Tipo de estudo

O presente estudo é de natureza aplicada, com abordagem mista (qualitativa e quantitativa). Estrutura-se em quatro eixos principais:

a) revisão bibliográfica e documental, envolvendo literatura técnica de patologia das edificações (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019), publicações sobre grandes incêndios (GALLUZZI, 2018), relatórios de investigação de sinistros, legislação e normas técnicas;

b) análise de estudos de caso nacionais e internacionais (Edifício Joelma, Boate Kiss, Ultracargo/Alemoa, incêndios em edifícios-garagem na Europa, como Luton – 2023), com foco em falhas de SCI e consequências;

c) análise quantitativa secundária, com uso dos resultados consolidados por Pinto (2024) sobre a taxa de edificações regularizadas no Estado de São Paulo, obtida por cruzamento de dados do CNPJ (CNAE) com o sistema Via Fácil Bombeiros;

d) síntese crítico-propositiva, resultando em recomendações técnico-normativas, de fiscalização, de capacitação e de cultura de segurança.

2.2 Limitações

A pesquisa baseia-se em dados secundários e na análise de casos já consolidados, não contemplando, por si, levantamento primário extensivo em todas as unidades da federação. As conclusões quantitativas sobre taxa de regularização referem-se ao Estado de São Paulo, ainda que possam indicar tendências plausíveis em outros estados. Ademais, alguns campos bibliográficos e dados detalhados de ensaios experimentais estão sujeitos a atualizações, sendo aqui utilizados os melhores registros disponíveis até a data de elaboração.

3. FUNDAMENTOS CONCEITUAIS

3.1 Medidas de segurança contra incêndio (MSCI) – componentes essenciais

Para fins deste artigo, as MSCI são agrupadas em três conjuntos complementares: medidas passivas, medidas ativas e medidas organizacionais/gestão de risco. As medidas de proteção passiva correspondem às soluções incorporadas à própria edificação (elementos corta-fogo, resistência ao fogo compatível com o TRRF, rotas de fuga protegidas e sinalizadas, proteção de shafts e dutos, escolha adequada de materiais e sistemas de controle de fumaça), concebidas para limitar a propagação do fogo e da fumaça e garantir condições mínimas de estabilidade e evacuação, mesmo sem intervenção humana imediata. As medidas de proteção ativa abrangem os sistemas que dependem de detecção e acionamento, automático ou manual, para alerta e supressão (detecção e alarme, sprinklers, hidrantes, sistemas especiais de extinção, exaustão de fumaça, iluminação e sinalização de emergência, extintores portáteis). As medidas organizacionais e de gestão compreendem a dimensão humana e procedimental (brigadas de incêndio, planos de emergência e de abandono, rotinas de inspeção, ensaio e manutenção, treinamentos e simulados, integração com serviços públicos de emergência). A ausência ou falha relevante em qualquer desses três grupos compromete o desempenho global de segurança ao fogo e caracteriza, neste trabalho, uma condição patológica da edificação. Uma edificação que carece, em maior ou menor grau, desses componentes encontra-se em condição de vulnerabilidade estrutural e operacional frente a um foco de incêndio, o que, neste trabalho, é interpretado como manifestação patológica.

3.2 Patologia das edificações – definição operacional

Patologia das edificações é o ramo da engenharia que estuda defeitos, falhas e “doenças” dos edifícios, identificando suas causas, mecanismos de ocorrência, manifestações e formas de intervenção (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019). Atua como uma “medicina dos edifícios”, interpretando sintomas (fissuras, umidade, desagregações, deformações, entre outros) para diagnosticar e recuperar a funcionalidade e a segurança da construção. Considera-se patológica a manifestação que compromete ou tende a comprometer o desempenho da edificação em requisitos como segurança estrutural, estanqueidade, conforto e segurança ao fogo, decorrente de falhas de projeto, execução, materiais, uso, manutenção ou de obsolescência normativa, com tendência de agravamento se não houver intervenção e exigindo ações corretivas e preventivas. Embora tradicionalmente focalizada em manifestações físicas, essa abordagem pode ser estendida às

deficiências sistêmicas de segurança contra incêndio, como discutido neste trabalho. A proposta deste artigo é ampliar o escopo para incluir a ausência ou deficiência de MSCI como um tipo de patologia preventiva, de natureza "latente": a edificação pode aparentar normalidade até que um evento de incêndio revele sua condição de vulnerabilidade extrema.

3.3 Articulação conceitual: por que a ausência de MSCI é patologia

A falta de MSCI, especialmente em edificações cuja ocupação, carga de incêndio e uso requerem proteção segundo regulamentos, reúne as características de uma patologia:

- representa desvio em relação a um "estado saudável" definido por normas técnicas e boas práticas;
- tem causas identificáveis (falhas de concepção, de execução, de manutenção, negligência regulatória ou cultural);
- aumenta significativamente a probabilidade de perda abrupta de desempenho e de ocorrência de danos e vítimas em caso de incêndio;
- demanda intervenção corretiva (adequações de projeto e de sistemas) e medidas preventivas (atualização normativa, capacitação, cultura de segurança).

A analogia com o corpo humano reforça essa percepção: as MSCI desempenham papel semelhante ao sistema imunológico. Um corpo sem sistema imunológico está vulnerável a infecções comuns que podem se tornar letais; uma edificação sem SCI está vulnerável a eventos corriqueiros – curtos-circuitos, sobrecargas, falhas em equipamentos, bacias de contenção para tanques de líquidos igníferos subdimensionadas, uso indevido de materiais pirofóricos – que, na ausência de barreiras e respostas, podem evoluir para catástrofes.

4. EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS E CASOS PARADIGMÁTICOS

4.1 Incêndios nacionais exemplares

4.1.1 Edifício Joelma (São Paulo, 1974)

O incêndio no Edifício Joelma, ocorrido em 1974, em São Paulo, causou 187 mortes e centenas de feridos. A edificação não dispunha de rotas de fuga adequadas, de compartimentação efetiva, nem de sistemas de proteção ativa compatíveis com a sua ocupação. As chamas se propagaram rapidamente pelos andares e, em poucos minutos, o edifício encontrava-se envolto em fumaça densa, inviabilizando a fuga pela escada e levando muitas pessoas a se lançarem pelas janelas (GALLUZZI, 2018).

Além da comoção social, o caso Joelma evidenciou a presença de uma patologia grave: edifícios altos projetados sem critérios estruturados de SCI. Como resposta, o Estado de São Paulo desenvolveu seu primeiro regulamento específico de segurança contra incêndio (Decreto nº 20.811/83), publicado nove anos após o sinistro.

4.1.2 Boate Kiss (Santa Maria, 2013)

O incêndio na Boate Kiss, em Santa Maria, RS, em 2013, resultou em 242 mortes e centenas de feridos. As investigações e a Comissão Parlamentar de Inquérito apontaram, entre outros fatores, o uso indevido de artefatos pirotécnicos em ambiente interno, a presença de espuma inflamável inadequada como tratamento acústico, a superlotação, a ausência ou insuficiência de saídas de emergência e a inexistência de um plano de emergência efetivo (CPI BOATE KISS, 2014).

A Boate Kiss era, sob o ponto de vista da SCI, uma edificação gravemente doente: apresentava múltiplas deficiências sistêmicas que, uma vez deflagrado o incêndio, impossibilitaram qualquer resposta efetiva, culminando em elevada letalidade. Como reação, o Congresso Nacional discutiu e aprovou a Lei nº 13.425/2017 (Lei Kiss), que estabeleceu diretrizes gerais sobre prevenção e combate a incêndio e desastres em estabelecimentos de reunião de público, incluindo a exigência de ocupação máxima, saídas adequadas e planos de emergência.

4.1.3 Ultracargo/Alemoa (Santos, 2015) – dano ambiental e repercussões legais

O incêndio no terminal de armazenagem de combustíveis da Ultracargo, no bairro da Alemoa, em Santos, em 2015, prolongou-se por vários dias e exigiu intensa atuação do Corpo de Bombeiros e de outras agências. Laudo do Ministério Público indicou, entre as causas e fatores agravantes, falhas operacionais e o fato de válvulas estarem fechadas, o que dificultou o escoamento e contribuiu para a propagação do incêndio (MINISTÉRIO PÚBLICO/SP, 2016).

As consequências extrapolaram os limites da planta industrial: houve mortandade de peixes, contaminação da água do estuário e do mar, impacto em atividades econômicas como a pesca e o turismo, e o Ministério Público pleiteou multa de R$ 3,6 bilhões por danos ambientais (G1, 2016).

Esse episódio demonstra que a patologia associada à falta de SCI e à gestão inadequada em instalações de alto risco não se restringe aos limites da edificação, mas gera externalidades ambientais e sociais de grande monta. Em resposta, a Instrução Técnica nº 25 do CBPMESP, que trata de líquidos igníferos, foi atualizada, com exigências mais rigorosas de bacias de contenção, entre outros requisitos.

4.2 Incêndio de Luton (Reino Unido, 2023) – lições técnicas para estacionamentos

O incêndio de 10 de outubro de 2023 no Terminal Car Park 2 do aeroporto de Luton, Reino Unido, atingiu cerca de 1.352 veículos, levou ao colapso parcial do edifício-garagem e à posterior demolição da estrutura. Segundo o “Significant Incident Report” do Bedfordshire Fire and Rescue Service (2024), o foco inicial foi um veículo a diesel, com rápida propagação por “running fuel” e ação do vento. O relatório ressalta a ausência de sistemas automáticos de supressão (sprinklers), cuja falta, associada à elevada carga de incêndio e à disposição dos veículos, favoreceu a escalada do sinistro, corroborando recomendações anteriores do BRE (BD2552) e do NFCC quanto à necessidade de sprinklers em estacionamentos com determinadas características (DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT, 2010; NFCC, 2020). Essa evidência internacional demonstra que projetos de edificações-garagem concebidos sem MSCI compatíveis com as cargas de incêndio e com o perfil dos veículos atuais apresentam patologia latente que pode ser desencadeada por um único foco de incêndio.

4.3 Indicador quantitativo: taxa de edificações regularizadas no Estado de São Paulo

A monografia de Pinto (2024) teve como objetivo propor estratégias para otimização do Plano de Fiscalização do CBPMESP por meio da inclusão de edificações e áreas de risco não cadastradas no Corpo de Bombeiros e sujeitas ao Regulamento de Segurança Contra Incêndio (RSCI). A pesquisa utilizou dados abertos do CNPJ disponíveis no portal do Governo Federal, com base no CNAE, para identificar atividades econômicas e respectivos logradouros, compondo um banco de dados de edificações elegíveis ao licenciamento.

Após o tratamento dos dados (exclusão de MEIs, de CNPJs sem estabelecimento físico e de duplicidades de endereço), obteve-se um número provável de 1.968.086 edificações elegíveis ao licenciamento no Estado de São Paulo. Em seguida, procedeu-se ao cruzamento dessas informações com o sistema Via Fácil Bombeiros, identificando-se 560.375 edificações licenciadas.

A taxa de licenciamento foi calculada como:

Taxa de Licenciamento = 28,5%.

Ou seja, apenas cerca de 28,5% das edificações que deveriam estar regularizadas junto ao Corpo de Bombeiros de fato possuíam licença válida, o que implica que aproximadamente 71,5% permanecem fora do sistema de regularização, compondo a chamada “cifra oculta” do Serviço de Segurança Contra Incêndio (PINTO, 2024).

Esse diagnóstico numérico reforça a tese de que a falta de MSCI, materializada na não regularização, não é fenômeno residual, mas patologia de grande extensão espacial e social.

5. ANÁLISE CRÍTICA E DISCUSSÃO

5.1 Elementos técnicos da patologia ligada à falta de MSCI

Esses casos evidenciam elementos recorrentes da patologia associada à falta de MSCI, tais como: projetos defasados em relação às cargas de incêndio reais (particularmente em estacionamentos com veículos mais pesados e baterias de alta densidade energética, sem atualização das exigências de detecção, supressão e ventilação); ausência ou insuficiência de sistemas automáticos de supressão em tipologias para as quais estudos internacionais já comprovam sua eficácia (NFCC, 2020); deficiências graves de manutenção (bombas de incêndio inoperantes, hidrantes e sprinklers desativados ou obstruídos, portas corta-fogo travadas); e inexistência ou fragilidade de planos de emergência e brigadas treinadas, comprometendo a evacuação, o ataque inicial ao fogo e a interface com o Corpo de Bombeiros. Tais elementos se traduzem em uma elevada probabilidade de que, na ocorrência de um foco de incêndio, a edificação não seja capaz de conter a propagação, levando à majoração dos danos e à perda de vidas – característica típica de uma patologia de segurança.

5.2 Impactos sociais, ambientais e econômicos

Os casos analisados evidenciam que a patologia associada à falta de MSCI produz impactos interdependentes de grande magnitude: sociais, expressos em mortes, lesões, traumas coletivos e abalo da confiança institucional; ambientais, pela emissão de gases tóxicos, geração de resíduos e contaminação de corpos d’água, como no incêndio da Ultracargo/Alemoa, com mortandade de peixes e danos a ecossistemas costeiros; e econômicos, materializados em destruição de patrimônio, interrupção de atividades produtivas, custos de reconstrução e pesadas sanções financeiras, a exemplo da multa de R$ 3,6 bilhões pleiteada pelo Ministério Público no caso

Ultracargo (MINISTÉRIO PÚBLICO/SP, 2016). A consideração da falta de MSCI como patologia contribui para que esses impactos sejam incorporados em análises de custo-benefício, demonstrando que investimentos em prevenção tendem a ser significativamente menores do que os custos de resposta e de reparação de danos.

5.3 Lei Kiss e formação de profissionais

A Lei nº 13.425/2017 (Lei Kiss) estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres, e, em seu Art. 8º, determina:

"Os cursos de graduação em Engenharia e Arquitetura em funcionamento no País, em universidades e organizações de ensino públicas e privadas, bem como os cursos de tecnologia e de ensino médio correlatos, incluirão nas disciplinas ministradas conteúdo relativo à prevenção e ao combate a incêndio e a desastres.

Parágrafo único. Os responsáveis pelos cursos referidos no caput deste artigo terão o prazo de seis meses, contados da entrada em vigor desta Lei, para promover as complementações necessárias no conteúdo das disciplinas ministradas, visando a atender o disposto no caput deste artigo." (BRASIL, 2017). A efetiva implementação desse dispositivo é condição indispensável para que engenheiros, arquitetos e tecnólogos sejam capazes de identificar, diagnosticar e corrigir as patologias de SCI em suas atividades profissionais. Entretanto, ainda há lacunas na inserção sistemática desses conteúdos nas grades curriculares, especialmente sob a perspectiva da patologia: trata-se não apenas de dimensionar sistemas, mas de reconhecer a ausência de SCI como falha grave de desempenho, que deve ser objeto de laudos, perícias, projetos de reabilitação e condicionantes de uso.

6. ELETROMOBILIDADE, SAVE E OPORTUNIDADE DE APRIMORAMENTO NORMATIVO, POLÍTICAS PÚBLICAS E INOVAÇÕES

6.1 Novas tecnologias e estudo coordenado pelo CBPMESP

A recente adoção, em escala crescente, de veículos movidos a novas energias (em especial, veículos elétricos) desencadeou preocupações legítimas quanto aos riscos de incêndio associados às baterias, à recarga e à operação desses veículos em garagens de edificações.

Diante desse cenário, o Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP) instituiu, em 2023, uma comissão de oficiais com formação multidisciplinar em engenharia de segurança contra incêndio e experiência operacional em combate a incêndios, com o objetivo de estudar, compreender e propor soluções relacionadas aos sistemas de alimentação de veículos elétricos (SAVE). Após um ano de estudos, consultas a entidades, especialistas e empresas, o CBPMESP publicou, em 5 de abril de 2024, uma minuta submetida à consulta pública, permitindo que toda a sociedade tomasse conhecimento das novas necessidades e apresentasse sugestões (SÃO PAULO, 2024).

6.2 Participação social e expansão do debate

A consulta pública sobre garagens com SAVE teve forte repercussão entre profissionais de engenharia, sindicatos de condomínios, imobiliárias e o setor da construção civil. Prevista inicialmente para 30 dias, foi prorrogada até 120 dias em razão do elevado volume e da qualidade das contribuições, que ultrapassaram cinco mil laudas. Esse engajamento amplo, especialmente relevante em um estado com grande população residente em condomínios verticais, evidenciou o impacto direto das decisões de SCI sobre a rotina de milhões de pessoas e conferiu alta legitimidade ao processo. Em decorrência da repercussão e da abrangência nacional do tema, o Chefe do DSPCI do CBPMESP, Cel Max Alexandre Schroeder, passou a apresentá-lo em audiências públicas na Câmara dos Deputados e no Senado Federal, inserindo a discussão no debate legislativo federal (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2024; SENADO FEDERAL, 2024).

6.3 Comissão nacional, ensaios em escala real e Diretriz LIGABOM

Em sequência, o Conselho Nacional de Comandantes-Gerais do Corpo de Bombeiros Militar (CNCGBM), por meio da LIGABOM, nomeou dois oficiais de cada estado para compor uma comissão nacional de estudos, com a finalidade de dar continuidade aos trabalhos e propor parâmetros técnicos com alcance nacional. Paralelamente, foram realizados ensaios rigorosos de estresse e incêndio em veículos protótipos, tanto com motores de combustão interna quanto em veículos elétricos de distintas marcas e fabricantes. Essas experimentações ocorreram em ambientes abertos e em laboratórios especializados, incluindo o primeiro laboratório de incêndio em escala real da América Latina, dedicado ao tema. Os resultados demonstraram, entre outros aspectos, que crenças iniciais sobre a impossibilidade de combater incêndios em veículos elétricos com volumes de água compatíveis com a realidade nacional eram, em parte, equivocadas. Um dos ensaios conduzidos pelo CBPMESP obteve sucesso na extinção do fogo em veículo elétrico com aproximadamente 3,5 m³ de água, muito abaixo de estimativas estrangeiras de 30 a 40 m³ (RIBEIRO, 2024). Com base nesses estudos e no processo de consulta pública, a LIGABOM consolidou a Diretriz Nacional sobre ocupações destinadas a garagens e locais com sistemas de alimentação de veículos elétricos (SAVE), que fornece parâmetros técnicos padronizados para serem adotados pelos estados em suas regulamentações (LIGABOM, 2026).

6.4 Reconhecimento internacional e fortalecimento da cultura de SCI

Os trabalhos desenvolvidos pelo Brasil no campo da segurança em eletromobilidade receberam reconhecimento formal da Norwegian EV Association, entidade de relevância global nas discussões sobre políticas públicas e mobilidade elétrica, que destacou a qualidade das iniciativas voltadas à segurança no setor (LIGABOM, 2026). Esse reconhecimento evidencia o elevado grau de maturidade técnica alcançado em curto espaço de tempo, a realização de ensaios em escala real com veículos 100% elétricos, a implantação de laboratório de incêndio em escala real e a promoção de consultas e audiências públicas com ampla participação social e institucional. Demonstra, ainda, que o país reúne condições de atuar como polo industrial e tecnológico na área de energias renováveis, oferecendo exemplos relevantes de como alinhar inovação tecnológica, aprimoramento conceitual e formulação de políticas públicas. Nesse contexto, o enquadramento da falta de segurança contra incêndio como patologia das edificações – tal como proposto neste artigo – torna-se não apenas coerente com essa evolução, mas essencial para consolidar um referencial

técnico que permita diagnosticar, tratar e prevenir, de forma sistemática, as vulnerabilidades que comprometem a integridade das construções e a proteção da vida.



Figura I – Reconhecimento da Norwegian EV Association aos trabalhos brasileiros.
Fonte: LIGABOM (2026).

7. RECOMENDAÇÕES TÉCNICO-NORMATIVAS E DE POLÍTICA PÚBLICA

7.1 Normas e regulação

Reconhecer explicitamente, em códigos de obras, regulamentos de SCI e manuais de patologia das edificações, que a falta de MSCI é uma patologia que afeta a saúde e a segurança das edificações, devendo constar em laudos técnicos, pareceres e avaliações de desempenho. Aplicar em tempo o Art. 8º da Lei nº 13.425/2017, exigindo das Instituições de Ensino Superior a comprovação da inclusão de conteúdos de SCI e de gestão de desastres em cursos de Engenharia, Arquitetura, tecnologia e ensino médio correlato, em prazos e formatos adequados.

8. CONCLUSÕES

A análise desenvolvida neste trabalho permite concluir que a falta de sistemas de segurança contra incêndio pode ser adequadamente caracterizada como uma patologia das edificações, no sentido técnico e conceitual do termo. Trata-se de condição de vulnerabilidade que compromete o desempenho de segurança ao fogo, aumenta a probabilidade de colapso estrutural e de propagação descontrolada de incêndios, e expõe vidas humanas, patrimônio e meio ambiente a riscos inaceitáveis. Casos paradigmáticos como o incêndio do Edifício Joelma, da Boate Kiss e do terminal da Ultracargo/Alemoa demonstram que, quando esta patologia não é diagnosticada e tratada, seus desdobramentos podem ser fatais e abrangentes, estendendo-se do corpo físico da edificação ao entorno urbano e ao meio ambiente. A evidência quantitativa apresentada pelo estudo de Pinto (2024), com taxa de licenciamento de apenas 28,5% das edificações elegíveis no Estado de São Paulo, indica que a patologia pela falta de MSCI está disseminada de forma sistêmica, configurando uma “cifra oculta” de edifícios doentes em grande escala. A analogia com o sistema imunológico reforça a urgência do tema: edificações sem MSCI são como organismos sem defesas, suscetíveis a ataques que, de outro modo, seriam controláveis. Em contrapartida, edificações adequadamente protegidas – com medidas passivas, ativas e organizacionais integradas –

comportam-se como corpos saudáveis, capazes de resistir a agressões e recuperar-se após um episódio de "doença".

A experiência recente do Brasil na regulamentação de garagens e locais com SAVE, conduzida pelo CBPMESP, pelo CNCGBM/LIGABOM, por entidades da indústria, da construção civil e da eletromobilidade, evidencia que, quando profissionais e instituições públicas e privadas atuam de forma coordenada, é possível superar mitos, alinhar inovação tecnológica e segurança e conquistar reconhecimento internacional. Essa trajetória demonstra que o país pode se tornar referência global em políticas públicas, inovação e regulamentação na área de SCI aplicada às novas tecnologias. A cultura de SCI deve ser fomentada com exemplos positivos, com a implementação efetiva da Lei Kiss (especialmente no que se refere à formação de engenheiros e arquitetos), com fiscalização inteligente, com pesquisa robusta e com a conscientização de que a proteção da vida é um dever compartilhado por toda a sociedade. Do ponto de vista da patologia das edificações, a falta de MSCI deixa de ser apenas um descumprimento normativo e passa a ser entendida como doença de base que precisa ser diagnosticada, tratada e monitorada. Somente a articulação entre a ciência do fogo, a engenharia de segurança, a patologia construtiva, o direito urbanístico e a participação social poderão reduzir a "metástase do fogo", preservar o "corpo" das edificações e proteger a "alma" dos edifícios – as pessoas que neles habitam, trabalham e convivem.

REFERÊNCIAS

AUDIÊNCIA PÚBLICA sobre **Segurança e Eletromobilidade**. Brasília, 26 abr. 2025. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=XUhdrgjOuQU. Acesso em: 22 jul. 2025.

BEDFORDSHIRE FIRE AND RESCUE SERVICE. **Significant Incident Report: London Luton Airport Terminal Car Park** 2. 10 out. 2023. 2024.

BRASIL. Lei nº 13.425, de 31 de março de 2017. **Estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público, e dispõe sobre a inclusão de conteúdo relativo à prevenção e combate a incêndio nos cursos de graduação em Engenharia e Arquitetura, bem como nos cursos de tecnologia e de ensino médio correlatos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 mar. 2017.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Audiência pública sobre segurança de instalações de recarga de veículos elétricos**. Brasília, 2024.

CPI DA BOATE KISS. **Relatório Final da Comissão Parlamentar de Inquérito da Boate Kiss.** Assembleia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul, 2014.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

G1 EM TV TRIBUNA. MP **divulga laudo e pede multa de R$ 3,6 bilhões por incêndio na Ultracargo**. 2016. Disponível em: https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2016/11/mp-divulga-laudo-e-pede-multa-de-r-36-bilhoes-por-incendio-na-ultracargo.html. Acesso em: 13 maio 2026.

GALLUZZI, F. **Incêndios históricos em São Paulo**. São Paulo: Livro Seguro, 2018.

LIGABOM. **Diretriz Nacional sobre ocupações destinadas a garagens e locais com sistemas de alimentação de veículos elétricos (SAVE)**. Brasília: CNCGBM/LIGABOM, 2026.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ação Civil Pública (Ultracargo)**. São Paulo, 2016.

PINTO, A. S. **Estratégia para otimização do Plano de Fiscalização por meio da inclusão das edificações e áreas de risco não cadastradas no Corpo de Bombeiros e sujeitas ao Regulamento de Segurança Contra Incêndio no Estado de São Paulo**. São Paulo: CAES/PMESP, 2024.

RIBEIRO, R. A. **Os desafios da segurança contra incêndio frente os impactos das tecnologias dos veículos modernos e bases de carregamento nas edificações**. Revista Fundabom, São Paulo, n. 10, ed. especial, p. 26–29, out. 2024.

SÃO PAULO (Estado). **Consulta Pública. Disponibiliza para consulta pública a minuta do parecer de "Ocupações com estações de recarga para veículos elétricos"**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, v. 134, n. 65, 5 abr. 2024.

SCHROEDER, M. A. **Evolução das normas de segurança contra incêndio e as novas instruções técnicas.** Revista Fundabom, São Paulo, n. 10, ed. especial, p. 30–31, out. 2024.

SENADO FEDERAL. Agência Senado**. Recarga de veículos elétricos precisa de normas razoáveis, dizem debatedores.** Brasília, 2024. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/06/12/recarga-de-veiculos-eletricos-precisa-de-normas-razoaveis-dizem-debatedores. Acesso em: 27 maio 2026.

WORKSHOP INTERNACIONAL. **Segurança Contra Incêndio em Edificações.** São Paulo: Distrito Anhembi, 06 jun. 2025.

PARTE V

DIAGNÓSTICO

47 capítulos

CAPÍTULO 62 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/t70nmq72
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/d7ek1d18

"PATOLOGIAS POR UMIDADES EM EDIFICAÇÕES: CAUSAS, MECANISMOS E IMPACTOS NO DESEMPENHO CONSTRUTIVO"

Carlos Roberto Godoi Cintra
Autor de contato: carlos.cintra@umc.br

Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes-SP, Brasil

RESUMO

A indústria da construção civil apresenta elevada incidência de manifestações patológicas, entre as quais se destacam aquelas associadas à ação da umidade, responsáveis por impactos significativos no desempenho, na durabilidade e no conforto das edificações. Essas patologias decorrem, em grande parte, de falhas de projeto, execução, especificação de materiais e ausência de manutenção adequada ao longo da vida útil das construções. Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar as principais manifestações patológicas relacionadas às umidades nas edificações, abordando suas causas, mecanismos de ocorrência e consequências, à luz dos conceitos de patologia das construções e dos requisitos de desempenho estabelecidos pela ABNT NBR 15575. O estudo fundamenta-se em revisão bibliográfica de autores consagrados da área, análise conceitual dos diferentes tipos de umidade — infiltração, ascensão capilar, condensação e umidade acidental — e na distinção entre os fenômenos de percolação e infiltração, frequentemente confundidos na prática profissional. Além disso, são apresentados exemplos típicos de anomalias recorrentes e diretrizes para o diagnóstico e a prevenção dessas patologias. Os resultados evidenciam que a umidade constitui um dos principais agentes de degradação do ambiente construído, ressaltando a importância da adoção de medidas preventivas integradas ao projeto, à execução e à manutenção das edificações, como forma de garantir o desempenho e a vida útil de projeto.
Palavras-chave: Patologia das construções. Umidade. Infiltração. Percolação. Desempenho das edificações.

ABSTRACT

The construction industry shows a high incidence of building pathologies, especially those related to moisture action, which significantly affect the performance, durability, and comfort of buildings. These pathologies are largely associated with design and execution failures, inadequate material specification, and lack of proper maintenance throughout the building life cycle. In this context, this paper aims to analyze the main moisture-related pathological manifestations in buildings, addressing their causes, mechanisms of occurrence, and consequences, based on construction pathology concepts and the performance requirements established by ABNT NBR 15575. The study is based on a bibliographic review of recognized authors in the field, a conceptual analysis of different types of moisture — infiltration, capillary rise, condensation, and accidental moisture — and a clear distinction between percolation and infiltration, which are often misused in professional practice. Typical examples of recurrent anomalies are also presented, along with guidelines for diagnosis and prevention. The results highlight moisture as one of the main agents of degradation of the built environment, emphasizing the importance of preventive measures integrated into design, construction, and maintenance processes to ensure building performance and service life.
Keywords: Construction pathology. Moisture. Infiltration. Percolation. Building performance.

1. INTRODUÇÃO

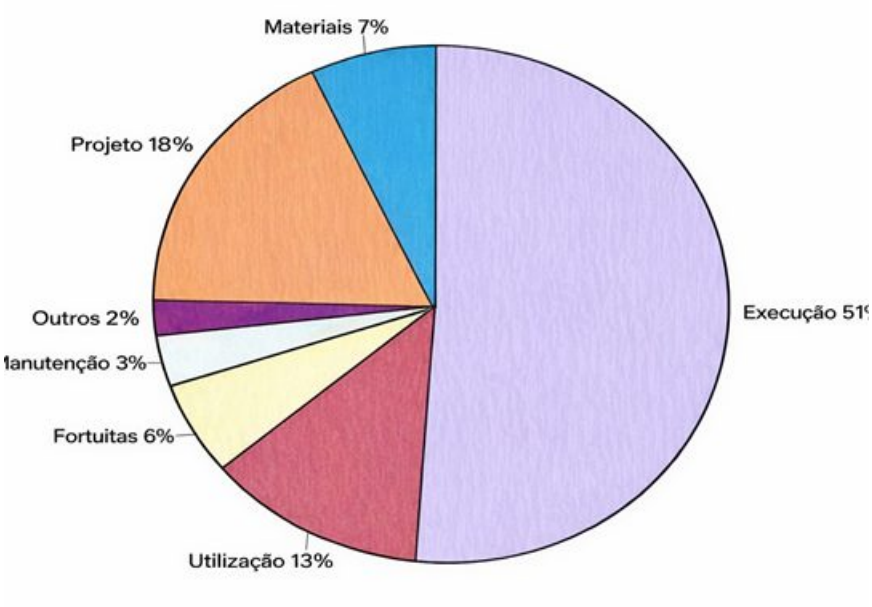
A indústria da construção civil apresenta particularidades que a diferenciam significativamente de outros setores produtivos, sobretudo pela elevada incidência de manifestações patológicas nas edificações. Essas anomalias decorrem da complexidade do processo construtivo, da multiplicidade de agentes envolvidos e da interação contínua entre fatores técnicos, ambientais e humanos ao longo da vida útil das edificações (HELENE, 1992).

Diferentemente das indústrias seriadas, a construção civil caracteriza-se por um processo produtivo pouco industrializado, no qual o produto permanece fixo enquanto o processo se desloca a cada empreendimento, ficando exposto às ações do meio ambiente desde a fase executiva até o período de uso (SOUZA; RIPPER, 1998). Soma-se a esse cenário a diversidade de soluções construtivas, a variabilidade de projetos e a heterogeneidade da mão de obra, fatores que dificultam a padronização e o controle da qualidade.

A deficiência na gestão da qualidade, aliada à fragilidade da fiscalização técnica nas fases de projeto, execução e pós-ocupação, contribui para o surgimento precoce de patologias, muitas vezes ainda nos primeiros anos de vida útil das edificações (BAUER, 2015). Tal cenário contraria os princípios de desempenho estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013), que preconiza requisitos mínimos de segurança, habitabilidade e durabilidade.

Entre as manifestações patológicas mais recorrentes destacam-se as fissurações e, sobretudo, aquelas associadas à ação da umidade. Estudos indicam que a maior parte das anomalias construtivas está relacionada a falhas de execução, seguidas por deficiências de projeto, uso inadequado e ausência de manutenção, conforme ilustrado na Figura 1, que apresenta a incidência das origens das enfermidades nas edificações (CARMONA, 1994).

Figuras: 1 – Incidência das origens das enfermidades no Brasil por setores da construção civil



Fonte: Carmona (1994).

A umidade constitui um dos principais agentes de degradação das edificações, atuando de forma lenta, contínua e, muitas vezes, silenciosa, comprometendo o desempenho, a durabilidade e o conforto ambiental (RIPPER; SOUZA, 1998). Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar as manifestações patológicas associadas às umidades no processo construtivo das

edificações, destacando suas causas, mecanismos de ocorrência, consequências e a importância da prevenção como instrumento fundamental para a melhoria da qualidade do ambiente construído.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Patologia das construções

A patologia das construções é o campo da engenharia civil responsável pelo estudo das manifestações patológicas que comprometem o desempenho das edificações, abrangendo a análise de seus sintomas, mecanismos de ocorrência, causas, origens e consequências ao longo da vida útil (SABBATINI et al.; HELENE, 1992). Trata-se de uma ciência metodizada voltada à identificação dos defeitos dos materiais, componentes e sistemas construtivos, subsidiando o diagnóstico técnico e a definição de medidas preventivas e corretivas (FALCÃO, s.d.).
As manifestações patológicas correspondem aos sintomas visíveis do problema, como manchas, fissuras, eflorescências e destacamentos, não devendo ser confundidas com suas causas fundamentais (SOUZA; RIPPER, 1998). A lesão representa o efeito final das falhas e defeitos construtivos (AZEREDO, 1997), enquanto o diagnóstico consiste na determinação das causas e dos mecanismos de formação do problema.

2.2 A umidade como principal agente patológico

Entre os diversos agentes de degradação das edificações, a umidade destaca-se como o mais recorrente. Dados estatísticos indicam que a maior parte das manifestações patológicas está associada à ação da água, superando problemas como fissuração estrutural ou defeitos intrínsecos dos materiais (VERÇOZA, 1991; SOUZA; RIPPER, 1998). A Figura 2 apresenta a distribuição das lesões por umidade nos diferentes subsistemas da construção civil, evidenciando sua ampla incidência.

Figura 2 - Lesões por umidades por subsistemas da construção civil



Fonte: IBAPE-SP (2015).

As patologias por umidade caracterizam-se, em geral, por manifestações tardias, surgindo após alguns anos de uso da edificação. Por não implicarem risco imediato de colapso estrutural, tendem a ser subestimadas em sua fase inicial, permitindo sua evolução progressiva e silenciosa (THOMAZ, 2001).

2.3 Ação da água nos materiais e sistemas construtivos

A ação da água sobre os materiais ocorre por mecanismos físicos, químicos e biológicos, frequentemente de forma combinada. Sob o aspecto físico, a umidade provoca variações dimensionais, fissurações e perda de aderência entre camadas. Quimicamente, possibilita processos como lixiviação, dissolução de sais e corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado.

Biologicamente, favorece o desenvolvimento de fungos e bolores, comprometendo a salubridade e o conforto dos usuários (HELENE, 1992; BAUER, 2015).
Os pontos mais vulneráveis das edificações à ação da umidade concentram-se em fundações, áreas enterradas, fachadas, coberturas, áreas molhadas e interfaces entre sistemas construtivos, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Pontos vulneráveis à umidades de uma edificação, locais para tratamento impermeável

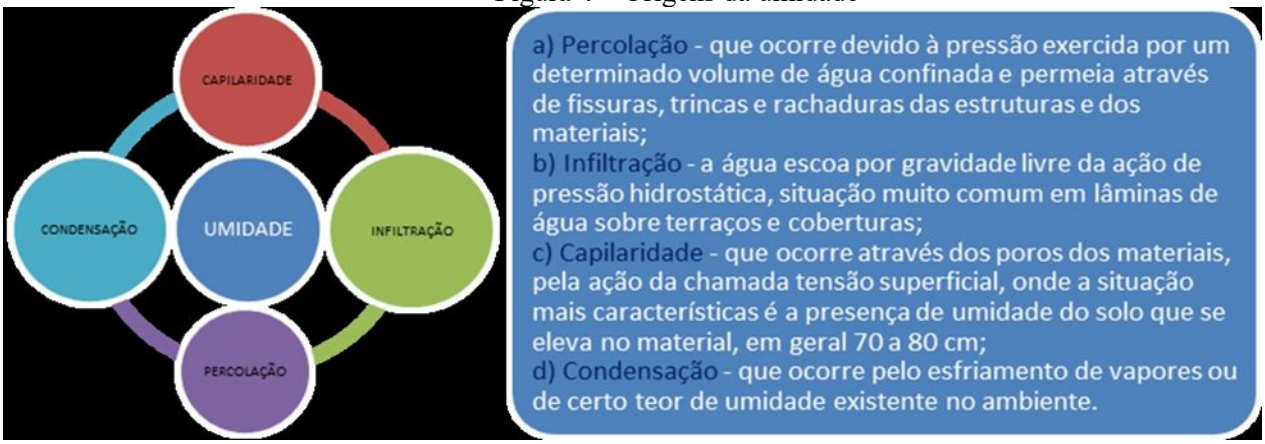


Fonte: Adaptado de MC-Bauchemie Brasil. Disponível em: https://www.mc-bauchemie.com.br. Acesso em: 03 fev 2026.

2.4 Tipos de umidade nas edificações

As manifestações patológicas associadas à umidade podem ser classificadas, segundo Verçoza (1991), em umidade por infiltração, por ascensão capilar, por condensação e umidade acidental. Essa classificação permite compreender os diferentes mecanismos de ocorrência e orientar o diagnóstico técnico e as medidas corretivas adequadas (SOUZA; RIPPER, 1998). A Figura 4 sintetiza o texto.

Figura 4 – Origens da umidade



Fonte: Fonte: Elaboração própria, com base em Verçoza (1991).

No estudo das manifestações patológicas associadas à umidade nas edificações, é fundamental a distinção conceitual entre percolação e infiltração, termos frequentemente utilizados de forma imprecisa tanto na prática profissional quanto na literatura técnica especializada. A correta compreensão desses conceitos é essencial para o adequado diagnóstico das causas das patologias e para a definição de soluções compatíveis com o desempenho esperado das edificações (HELENE, 1992; SOUZA; RIPPER, 1998).

A percolação pode ser definida como o processo físico de migração da água através dos poros, vazios interconectados, microfissuras e descontinuidades dos materiais construtivos, estando diretamente associada à permeabilidade e à estrutura interna desses materiais. Trata-se de um fenômeno inerente a materiais porosos, como concreto, argamassa, alvenaria e solo, podendo ocorrer mesmo na ausência de falhas aparentes de execução ou de projeto (NEVILLE, 2016; MEHTA; MONTEIRO, 2014). A percolação constitui, portanto, um mecanismo natural de transporte da água, condicionado às propriedades físico-químicas e microestruturais dos materiais empregados.

A infiltração, por sua vez, caracteriza-se como a entrada indesejada de água em elementos construtivos ou ambientes que deveriam apresentar comportamento estanque, configurando-se como uma manifestação patológica. Diferentemente da percolação, a infiltração não representa o mecanismo de deslocamento da água, mas sim o efeito prejudicial resultante da ação da água em locais não previstos, geralmente associado a falhas de projeto, execução inadequada, ausência ou degradação de sistemas de impermeabilização, bem como à deficiência de manutenção ao longo da vida útil da edificação (SOUZA; RIPPER, 1998; VERÇOZA, 1991).

Sob a ótica do desempenho das edificações, a ABNT NBR 15575 estabelece requisitos mínimos de estanqueidade à água, com o objetivo de limitar a ocorrência de infiltrações que possam comprometer a segurança, a habitabilidade e a durabilidade dos sistemas construtivos. A norma reconhece implicitamente que a percolação pode ocorrer nos materiais constituintes, porém exige que, quando corretamente projetados e executados, os sistemas construtivos impeçam que esse fenômeno resulte em infiltrações capazes de gerar danos funcionais, estéticos ou estruturais, afetando a vida útil de projeto (VUP) da edificação (ABNT, 2021).

A umidade por infiltração decorre da penetração de água proveniente da chuva, geralmente associada a falhas na impermeabilização e na estanqueidade da envoltória. A ascensão capilar resulta da absorção de água do solo por materiais porosos, sendo comum em edificações térreas.

A condensação está relacionada às condições higrotérmicas e à ventilação dos ambientes, enquanto a umidade acidental decorre, principalmente, de vazamentos em instalações prediais. Exemplos típicos dessas manifestações são apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Tipos de umidades com exemplos



Fonte: Elaboração própria, com base em Verçoza (1991). Imagens: (a) Arquivo do autor; (b) Arquivo do autor; (c) Adaptado de MC-Bauchemie Brasil (2026); (d) Adaptado de IBAPE-SP (2015); (e) Adaptado de Alucci; Flauzino; Milano.

2.5 Consequências das manifestações patológicas por umidade

As patologias por umidade comprometem o desempenho e a durabilidade das edificações, além de impactarem negativamente o conforto ambiental, a estética e a saúde dos usuários. Entre suas principais consequências destacam-se a degradação dos materiais, destacamento de revestimentos, corrosão das armaduras, aparecimento de eflorescências, mofos e o aumento dos custos de manutenção (BAUER, 2015).

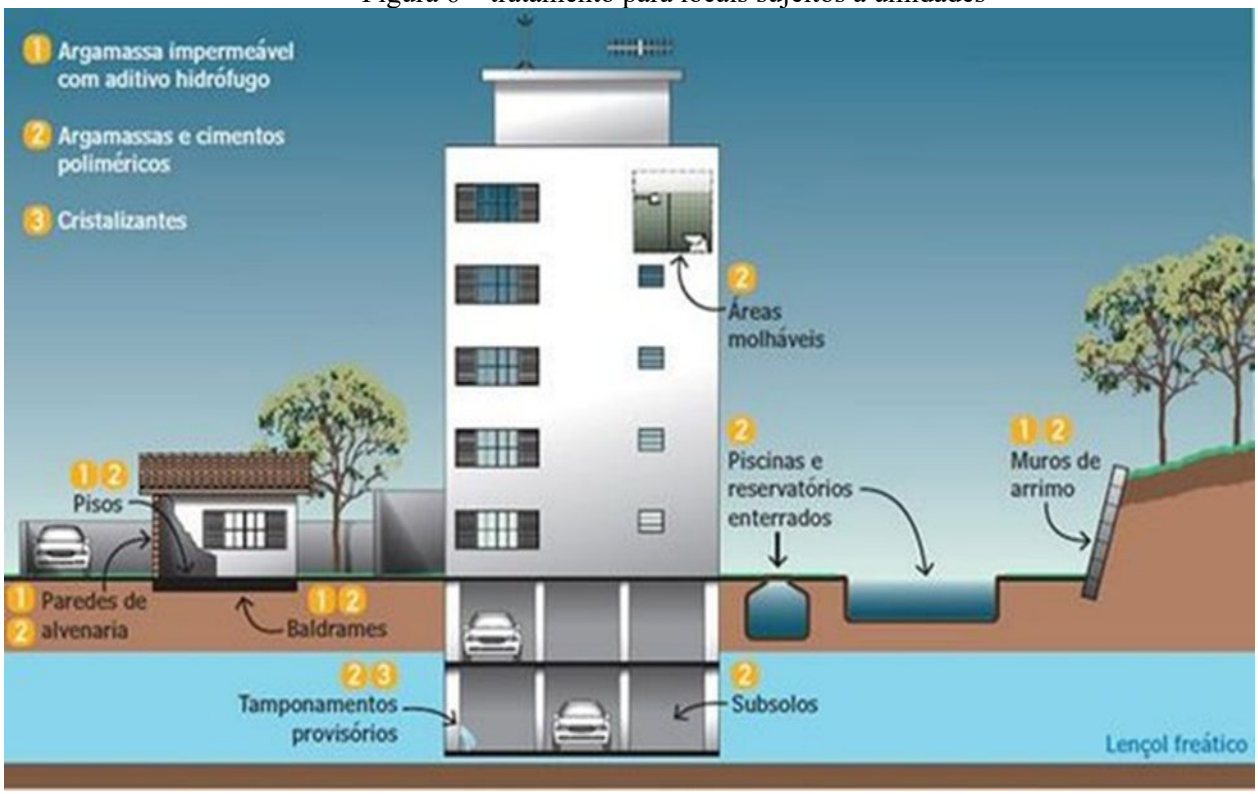
A evolução desses problemas é intensificada por características contemporâneas das edificações, como estruturas mais esbeltas, fachadas complexas e deficiência na qualificação da mão de obra e na manutenção preventiva (THOMAZ, 2001).

2.6 Diagnóstico e prevenção das patologias por umidade

O diagnóstico adequado das manifestações patológicas por umidade é fundamental para a definição de intervenções eficazes. A adoção de medidas corretivas que tratam apenas os sintomas, sem a eliminação das causas, resulta em soluções paliativas, de baixa durabilidade e elevado custo ao longo do tempo (SOUZA; RIPPER, 1998).

A prevenção deve ser incorporada de forma integrada ao longo do ciclo de vida da edificação, envolvendo boas práticas de projeto, detalhamento construtivo adequado, compatibilização entre sistemas, correta especificação de materiais, execução conforme as normas técnicas de impermeabilização e manutenção preventiva contínua. A Figura 6 apresenta exemplos de tratamentos adequados para locais com recorrência de umidade.

Figura 6 – tratamento para locais sujeitos a umidades

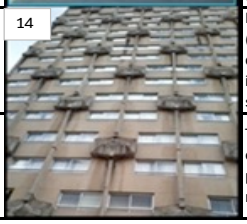


Fonte: Adaptado de MC-Bauchemie Brasil. Locais para tratamento impermeável. Disponível em: https://www.mc-bauchemie.com.br. Acesso em: 03 fev. 2026.

3. DESENVOLVIMENTO:

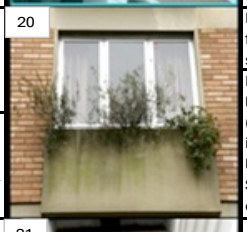
As figuras 07 a 21, adiante, apresentam vários casos de umidades recorrentes nas construções:

Figuras 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13 e 14 Legenda: **D**: Diagnóstico **T**: Terapia

7 	D: Infiltrações: no respaldo da platibanda com descamação da pintura, com sujidade e umidade na contraface por respingos de chuva da cobertura (fig. 7)	11 	D : Umidades nas faces externas nas paredes na prumada dos banheiros por falta de impermeabilização nas faces internas das paredes, antes da colocação do revestimento cerâmico (fig. 11).
	D: Falta de rufo no respaldo e impermeabilização da contraface da platibanda e pintura protetiva (fig. 7).		T: Retirada do revestimento cerâmico interno e refacção com argamassa (cimento + areia) sem cal e posterior tratamento impermeável com recolocação do novo revestimento cerâmico (fig. 11).
8 	D: Umidades: na fabricação do material, e na execução da obra, do solo (ascendente) e por higroscopia (do próprio ar) (fig. 8).	12 	D: Umedecimento da base de esquadria por ineficiência do parapeito (fig.13). Em edifícios a colocação é feita por fora com balancins com o corte lateral de 3cm para encaixe da pedra (fig. 13).
	T: Variações dimensionais por secagem do material e trincas posteriores. Fazer o encunhamento com argamassa fraca no respaldo após a secagem (fig. 8)	13	T: Fazer o parapeito no tamanho da abertura, colocado por dentro sem a necessidade de balancins (em prédios) e colar um triângulo do próprio material para direcionar a água da chuva para o centtro do parapeito e pingadeira (fig. 12).
9 	D: Umidades por infiltração nas paredes da floreira, com descamação da pintura, mofo e sujidades (fig. 9).		
	T: Retirada, limpeza (lixamento) das paredes (interna e externa) com pintura após secagem e impermeabillização interna (fig. 9). Sugestão: fazer nichos impermeabilizados com drenagem.		
10 	D: Umidade ascendente do solo nas paredes, com descamação do revestimento, mofo e sujidades (fig. 10).	14 	D: Fachada de prédio com detalhes (anteparos) que facilitam a deposição da água, causando umidades e mofo internamente e escorrimentos e sujidades na face externa (fig. 14).
	T: Remoção do revestimento até 1m de altura e 5cm vazados na base da parede (alternada cada 60cm) e preenchimento com argamassa impermeável. Refacção com revestimento impermeável (fig. 10).		T: Limpeza geral da fachada com água clorada com tratamento impermeável posterior ou refacção da fachada com remoção dos anteparos (fig. 14).

Figuras 15 a 21 Parte (2/2) - Manifestações patológicas por umidades na construção civil: análises preliminares do autor baseadas em fotos e desenhos.

Figuras 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21 e 22 Legenda: **D**: Diagnóstico **T**: Terapia

15 	(D: Trinca no respaldo do muro causada por expansão da armadura da verga, oxidada pela umidade (escorrimento de água) por falta de pingadeira ou impermeabilização do rufo (fig. 15).	19 	D: Fachada de prédio com detalhes em tijolos frisados a vista com anteparos, sem pintura hidrofugante, retendo água de chuva e gradil em vigas de madeira chumbados na parede provocando infiltrações e trincas (fig. 19).
16	T: Refacção da verga de respaldo do muro com colocação de rufos e pingadeiras como no detallhe (fig. 16).		T: Fazer caimento nos anteparos, limpar manchas com água clorada e aplicar hidrofugante. Na ancoragem de vigas de madeira usar cálice maior com produto elástico (silicone) (fig. 19).
17 	D: infiltração entre materiais diferentes (PVC e concreto) com umidade ao redor. (fig. 17).	20 	Fachada de prédio com esquadria e floreira com umidades, escorrimentos, sujidades e mofo (fig. 20).
	T: Retirada do concreto e revestimento em volta do tubo com impermeabilização com material flexível (fig. 17).		Retirar o solo e a vegetação, limpar e lavar com água clorada, fazer drenagem (ralo), se necessário, e impermeabilizar internamente. Na parte externa limpar, lavar e proteção com resina acrílica. Sugestão: criar nicho impermeabilizado com drenagem e vasos (fig. 20).
18 	D: lesões associadas - Recalque de fundação com umidade por infiltração na trinca resultante (fig. 18).	21 	D: Piso em granito com manchas de umidade ascendente do solo em pontos diversos (fig. 21).
	T: Recuperação da fundação com estaca de reação e após a limpeza e lavagem, recompor o revestimento da parede e do piso (fig. 18).		T: Retirada do granito e refacção da base com lastro de brita + lona plástica + armadura + concreto + tratamento impermeável e recolocação do revestimento (granito) (fig. 21).

Figuras 07 a 21: Anomalias construtivas com análises do autor: Obs.: Os textos presentes nas figuras são ilustrativos. Os diagnósticos e interpretações são descritos ao lado da figura. Fonte: Elaboração e análises próprias, com base em Verçoza (1991), Thomaz (2001) e Souza e Ripper (1998). Imagens: Arquivo do autor; adaptadas de IBAPE-SP (2015), MC-Bauchemie Brasil, Souza (2008) e material técnico-didático.

As figuras 22 a 31, adiante, apresentam vários casos de umidades recorrentes nas construções.

Figuras 22 a 31 - Anomalias construtivas com análises do autor:

Manifestações patológicas por umidades na construção civil: análises preliminares do autor baseadas em fotos e desenhos.

Figuras: 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31 Legenda: D: Diagnóstico T: Terapia P: Prevenção

22



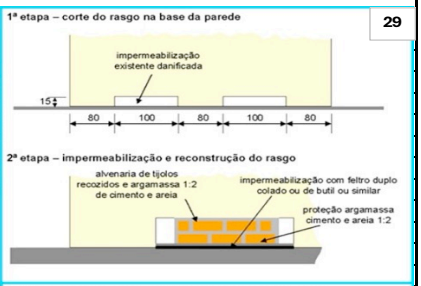
D: Lixiviação com carbonatação no revestimento em tijolos a vista com deposição de $CaCO_3$ ou $MgCO_3$ devida a infiltração de chuva pelas juntas (frisamento incorreto) ou pelo próprio material (sem proteção) (fig. 22).
T: Retirada dos material depositado e pintura com hidrofugante após a secagem (fig. 22).

25

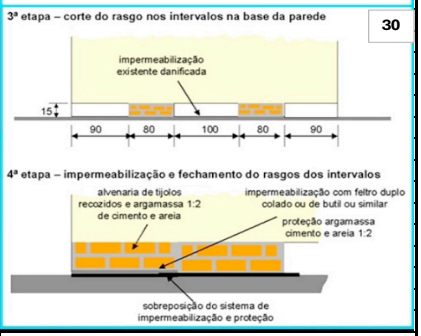


D: Edifício com revestimento atacado devido ao ambiente agressivo com deposição continuada de sulfatos pela maresia (ambiente marítimo) (fig. 25).
T: limpeza com água clorada e lavagem posterior. Pintura com tinta protetiva, emborrachada ou aplicação de revestimento cerâmico em toda a superfície (fig. 25).

29



30



23



P: Prevenção para evitart trincas no respaldo da alvenaria (blocos cerâmicos) sob a viga por retração de secagem da argamassa de assentamento ou dos próprios blocos (chuva). Fazer o assentamento deixando uma fresta de 2cm e esperar a secagem por ~30 dias e preencher o espaço com argamassa expansiva ou com traço fraco 1:2:12. Na foto uso de alvenaria racionalizada com estrutura de concreto armado convencional (fig. 23).

26



D: A umidade das áreas molhadas atravessa a parede atacando o revestimento do lado exterior (fig. 26).
T: A recuperação deve ser feita internamente com a retirada do revestimento cerâmico e do emboço. Refazer o emboço com apenas cimento e areia com pintura semi-flexível para impermeabilização e recomposição dos azulejos, s e posterior retirada e refacção do revestimento exterior. (fig. 26).

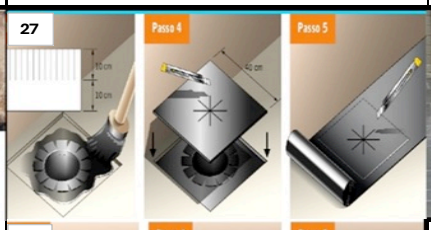
D: Recuperação: Parede com umidade ascendente:
T: São 4 etapas. Retirada do revestimento (emboço + reboco) atacado até a altura de 80 cm e remoção da parede (trespassada) na espessura de 1 fiada de tijolo (alternadas) e preenchimento posterior com uma barreira com argamassa impermeável com a espessura de (~6cm) e refacção do revestimento com argamassa impermeável (figs. 29 e 30).

24

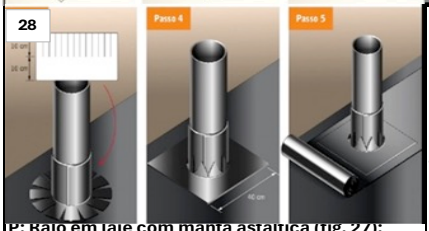


D: Eflorescência por infiltração de água de chuva pela trinca entre a viga e a laje de cobertura, (por efeito térmico, por falta de impermeabilização e isolamento térmico com deposição de $CaCO_3$ ou $MgCO_3$ e carbonatação posterior com revestimento atacado por agente agressivo (maresia) (fig. 24).
T: Limpeza com lavagem da fachada, escariar e tamponar as trincas com preenchimento de material elástico, impermeabilização da laje com isolamento térmico e pintura protetiva final (fig. 24).

27



28



P: Ralo em laje com manta asfáltica (fig. 27): deixar na argamassa de regularização um rebaixo de 2 cm num quadrado de 40 x 40cm e após a imprimação do impermeabilizante (1) , introduzir no tubo uma manta com 20 cm de largura, fechar o rebaixo com um quadrado no formato de estrela. Passagem de tubo pela laje (fig. 28): Fazer 2 cartolas da manta asfáltica, uma para baixo e outra para cima e a manta impermeável.

31



D: Eflorescência com afloramento com deposição de $CaCO_3$ ou $MgCO_3$ e carbonatação posterior devido a umidade ascendente do contrapiso (fig. 31).
T: Retirada do revestimento com refacção do contrapiso sobre lastro de brita, seguido de lona plástica, armadura e concreto com aplicação de produto impermeabilizante e assentamento de novo revestimento (fig. 31).
T: Retirada do revestimento e refacção da base com lastro de brita + lona plástica + armadura + concreto + tratamento impermeável e recolocação do revestimento (granito) (fig. 31).

Observação: Os textos presentes nas figuras são ilustrativos; os diagnósticos e interpretações são descritos abaixo da figura. Fonte: Elaboração do autor, com base nas ABNT NBR 15575:2013; ABNT NBR 5674:2012; ABNT NBR 9452:2019; ABNT NBR 13752:1996; ABNT NBR 14037:2011, e em Helene (1992), Souza e Ripper (1998) e Thomaz (2001).

4. CONCLUSÃO

A umidade constitui um dos principais agentes de degradação das edificações, atuando de forma contínua e, muitas vezes, silenciosa, com impactos significativos no desempenho, na durabilidade e no conforto ambiental. As manifestações patológicas associadas à ação da água decorrem, em grande parte, de falhas de projeto, execução inadequada, especificação incorreta de materiais e ausência de manutenção preventiva ao longo da vida útil das construções.

A revisão bibliográfica evidenciou que as patologias por umidade tendem a apresentar manifestações tardias, o que contribui para sua subestimação nas fases iniciais, favorecendo a evolução progressiva dos danos e o aumento dos custos de recuperação. A distinção conceitual entre percolação e infiltração mostrou-se fundamental para o correto diagnóstico das causas das patologias, evitando intervenções paliativas que tratam apenas os sintomas, sem eliminar os mecanismos geradores do problema.

O estudo destacou a importância da classificação dos diferentes tipos de umidade — infiltração, ascensão capilar, condensação e umidade acidental como instrumento essencial para a compreensão dos mecanismos de ocorrência e para a definição de estratégias adequadas de prevenção e correção. Observou-se que a adoção de medidas preventivas integradas ao projeto, ao detalhamento construtivo, à execução conforme as normas técnicas e à manutenção contínua constitui a forma mais eficaz de garantir o atendimento aos requisitos de desempenho estabelecidos pela ABNT NBR 15575.

Conclui-se, portanto, que a abordagem preventiva das patologias por umidade representa não apenas uma exigência técnica, mas também um fator determinante para a qualidade, a durabilidade e a sustentabilidade do ambiente construído, contribuindo para a boa prática profissional e para a mitigação de danos futuros nas edificações.

REFERÊNCIAS

ALUCCI, M. P.; FLAUZINO, W. D.; MILANO, S. **Bolor em edifícios: causas e recomendações. In: Tecnologia das Edificações**. São Paulo: Pini, 1988, p. 565-570

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674:2012 – **Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452:2019 – **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13752:1996 – **Perícias de engenharia na construção civil**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14037:2011 – **Manual de uso, operação e manutenção das edificações**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575:2021 – **Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2021.

AZEREDO, H. A. **O edifício até sua cobertura**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CARMONA, F. **Patologia das construções**. São Paulo: PINI, 1994.

FALCÃO, D. M. **Patologia das construções**. São Paulo: PINI, s.d.

HELENE, P. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1992.

IBAPE-SP – INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO. **Patologia das construções**. São Paulo, 2015.

MC-BAUCHEMIE BRASIL. Locais para tratamento impermeável. Disponível em: https://www.mc-bauchemie.com.br. Acesso em: 3 fev. 2026.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 4. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

SABBATINI, F. H. et al. **Patologia das edificações**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1992.

SOUZA, M. F. DE; SILVA, A. P. **Patologias Ocasionadas Pela Umidade Nas Edificações** – Escola de Engenharia UFMG, 2008

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: PINI, 2001.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das edificações**. Porto Alegre: Sagra, 1991.

CAPÍTULO 63 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/95ntpw26
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/8neay874

"MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTOS DE TRANSIÇÃO DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO: UMA REVISÃO ANALÍTICA"

Carlos Roberto Godoi Cintra

Autor de contato: carlos.cintra@umc.br

Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes-SP, Brasil

RESUMO

Os pavimentos de transição em edifícios de concreto armado exercem papel estrutural fundamental ao redistribuir cargas entre sistemas resistentes não coincidentes, estando sujeitos a elevados níveis de solicitação, variações geométricas e exposição ambiental diferenciada. Essas condições tornam esses elementos particularmente suscetíveis ao surgimento de manifestações patológicas, como fissuração, deformações excessivas, infiltrações, corrosão de armaduras e destacamentos de revestimentos. Este artigo apresenta uma revisão analítica da literatura técnica e científica sobre as principais avarias construtivas que afetam as lajes de transição e seus componentes, correlacionando-as às características intrínsecas desses pavimentos, tais como grandes vãos, altas cargas, descontinuidades estruturais e exposição ao intemperismo. A pesquisa, de natureza qualitativa e exploratória, sistematiza agentes causadores, mecanismos de degradação e padrões recorrentes de danos resultando na perda do desempenho desses elementos. Os resultados evidenciam que a maioria das lesões decorre da combinação de ações mecânicas, térmicas, higroscópicas e construtivas, reforçando a necessidade de rigor técnico no projeto, execução e manutenção dos pavimentos de transição, visando à segurança, ao comportamento em uso e à durabilidade das edificações.
Palavras-chave: pavimentos de transição; lajes de transição; desempenho; patologia das construções.

ABSTRACT

Transition floors in reinforced concrete buildings play a fundamental structural role by redistributing loads between non-coincident load-bearing systems, being subjected to high levels of stress, geometric variations, and differentiated environmental exposure. These conditions make these elements particularly susceptible to the development of pathological manifestations, such as cracking, excessive deformations, infiltrations, reinforcement corrosion, and detachment of finishes. This article presents an analytical review of the technical and scientific literature on the main construction defects affecting transition slabs and their components, correlating them with the intrinsic characteristics of these floors, such as large spans, high loads, structural discontinuities, and exposure to weathering. The qualitative and exploratory research systematizes causative agents, degradation mechanisms, and recurring damage patterns that result in the loss of performance of these elements. The results show that most defects arise from the combined effects of mechanical, thermal, hygroscopic, and construction-related actions, reinforcing the need for technical rigor in the design, execution, and maintenance of transition floors to ensure safety, serviceability, and durability of buildings.
Keywords: transition floors; transition slabs; performance; building pathology.

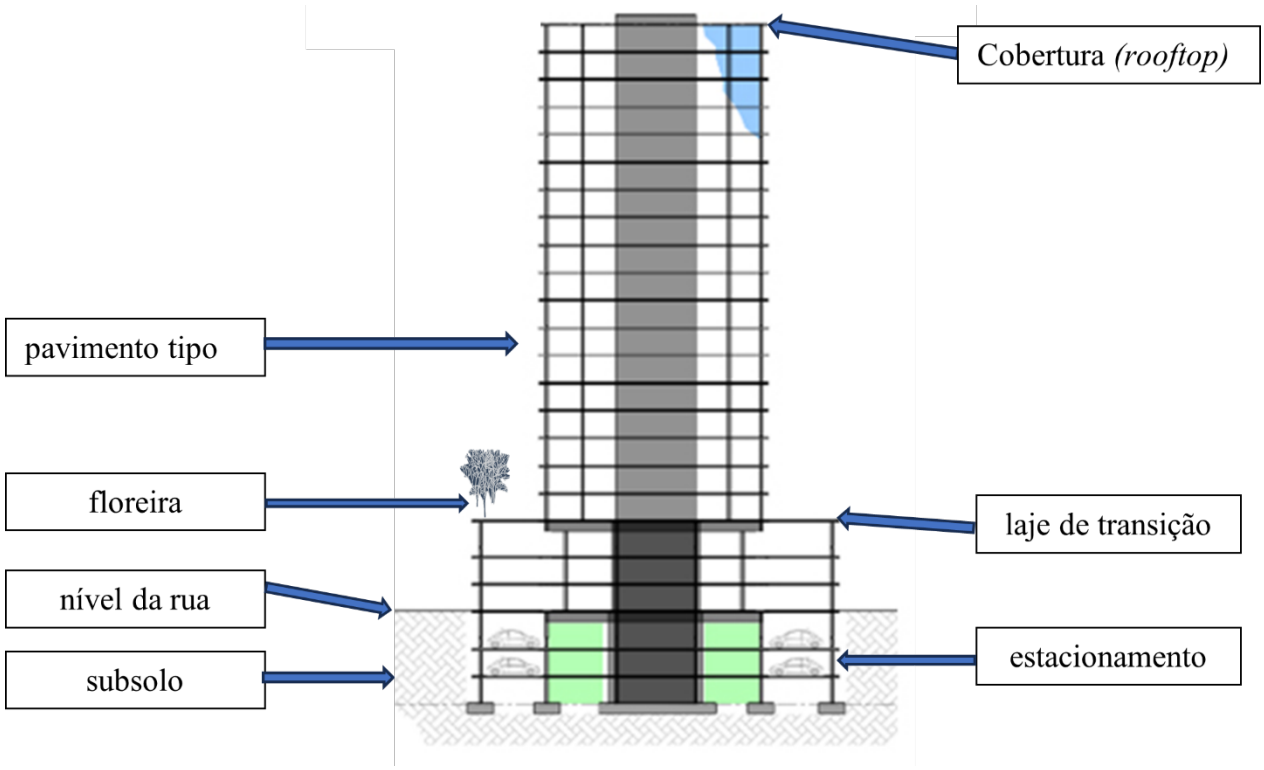
1. INTRODUÇÃO

Os pavimentos de transição em edifícios de concreto armado, também denominados lajes de transição, são elementos estruturais de elevada rigidez destinados à redistribuição das cargas verticais quando há descontinuidade no alinhamento dos pilares ou alteração no sistema estrutural. Esses elementos atuam como intermediários na transferência de esforços entre sistemas estruturais não coincidentes.

No Brasil, sua utilização intensificou-se a partir da década de 1990, em decorrência da verticalização urbana e da crescente demanda por maior flexibilidade arquitetônica nos pavimentos inferiores. Entretanto, devido à elevada concentração de tensões, à complexidade geométrica e às condições de exposição — especialmente em pavimentos destinados a lazer, piscinas e áreas técnicas — esses elementos apresentam maior suscetibilidade ao desenvolvimento de manifestações patológicas, como fissuração, deformações excessivas, punção e infiltrações. Pretende-se assim, como objetivo geral, **r**elacionar as ocorrências de manifestações patológicas e suas causas que acometem nos pavimentos de transição e seus componentes e como objetivos **e**specíficos: identificar situações sensíveis nos pavimentos de transição e prevenir anomalias construtivas nos projetos e execução de edifícios; recomendar cuidados projetuais, métodos e técnicas para evitar o mau desempenho desses elementos nos edifícios novos e na recuperação desses no pós-uso e acautelar os profissionais da construção civil nas condutas e diagnósticos em situações de mesma natureza.

Dessa forma, o pavimento de transição, caracterizado na figura 1, constitui um ponto crítico do sistema estrutural das edificações, exigindo elevado rigor técnico no dimensionamento, no detalhamento, no controle tecnológico dos materiais e na execução, de modo a garantir o desempenho, a durabilidade e a segurança da estrutura ao longo de sua vida útil.

Fig. 1 - Representação visual de um edifício com pavimentos tipo e de transição



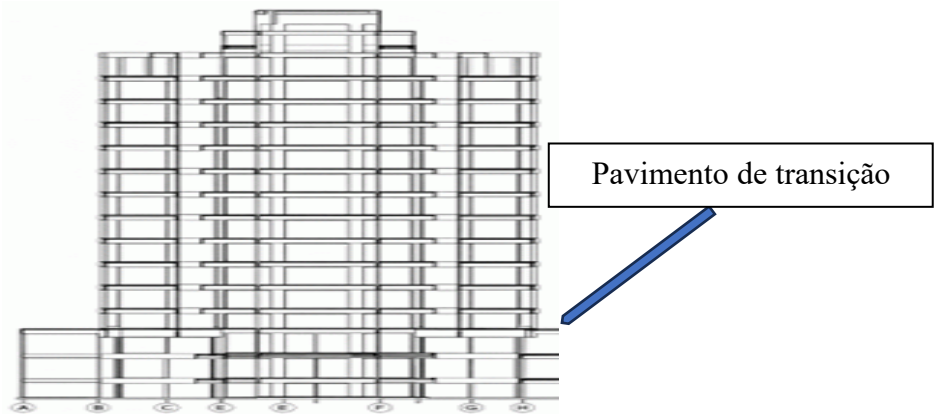
Fonte: Adaptado de ROBERTS (2023).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: O PAVIMENTO DE TRANSIÇÃO

2.1. A arquitetura estrutural do(s) pavimento(s) de transição e seus componentes

A figura 2 ilustra o diferencial na estrutura em edifícios e o quadro 1, adiante, relaciona os componentes das estruturas dos pavimentos de transição e suas características principais.

Figura 2 - Arquitetura estrutural de edifício com pavimento de transição



Fonte: Possato et al. (2024).

Quadro 1 - Componentes estruturais: funções, tipologias e principais condicionantes técnicos

Elemento Estrutural	Função	Tipologia de Laje	Vantagens	Limitações / Obs.
Laje de transição	Distribuir e transferir cargas de pilares ou paredes de apoio	Maciça, nervurada (uni/bidirecional), protendida ou pré-fabricada	Grandes vãos, redistribuição de cargas, controle de deformações	Espessura maior; controle de fissuração
Vigas de transição	Concentrar ou transferir cargas da laje para os pilares	Vigas principais e secundárias, maciças ou protendidas	Concentração de cargas; melhor distribuição nos pilares	Reforço em regiões críticas; (laje cogumelo), peso adicional
Pilares / pilares de apoio	Receber carga da laje e transferir para fundações	Concreto armado ou protendido	Estabilidade vertical c cargas concentradas	Exigem maior rigidez da laje de transição
Muros / paredes estruturais	Transferir cargas verticais adicionais	Alvenaria estrutural, concreto	Integra carga distribuída de paredes, > rigidez	Requer análise de compatibilidade com pilares
Caixões perdidos e nervuras	Aumentar rigidez da laje	Laje nervurada ou maciça com caixões	Reduz flechas e deformações; Grandes vãos	Produção mais complexa; peso próprio elevado
Vigas inclinadas / escoras de concreto	Reforçar a transferência de cargas	Concreto armado	Distribuição eficiente de cargas; aumenta segurança	Aplicação limitada; detalhamento complexo
Conectores de cisalhamento (em laje mista)	Funcionamento da laje com vigas metálicas	Laje mista (metal deck + concreto)	Perfis metálicos; > rigidez e < deformação	Aplicável apenas em lajes compostas

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2020), Moura (2020), IDD (2022), Piekarski (2020) e An et al., 2022.

2.2. As manifestações patológicas e a engenharia diagnóstica nas edificações

Na engenharia diagnóstica, a anamnese corresponde ao levantamento do histórico da edificação, etapa fundamental para a identificação das causas das manifestações patológicas (NORONHA, 2005; SOUZA; RIPPER, 1998). Nesse contexto, distingue-se patologia das construções, como o estudo dos mecanismos e causas das falhas, das lesões construtivas, que representam suas manifestações visíveis em campo, como fissuras, infiltrações e destacamentos. As normas da ABNT trazem essas definições, conforme o quadro 2; tipologia das lesões no quadro 3; os efeitos e origens das manifestações patológicas no quadro 4 e no quadro 5 as lesões devidas às umidades:

Quadro 2 – Termos normativos relacionados às lesões ou anomalias patológicas em edificações

Norma e ano	Nomenclatura/Norma	Termos	Definições segundo a norma
ABNT NBR 5674:2012	Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão da manutenção	Anomalia, Falha, Defeito	Anomalias: alteração do estado esperado de um elemento da edificação. Falha: incapacidade de um item cumprir sua função. Defeito: não atendimento aos requisitos de projeto/execução/materiais.
ABNT NBR 9452:2019	Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento	Anomalia, Desordem, Patologia	Anomalia: manifestação física perceptível na edificação. Desordem: alteração que compromete o desempenho ou segurança. Patologia: estudo das causas, evolução e consequências das anomalias.
ABNT NBR 15575:2013	Edificações habitacionais – Desempenho	Manifestações, Desempenho inadequado	Manifestações: indícios de perda de desempenho: fissuras/infiltrações/corrosão. Desempenho inadequado: o sistema não atende aos requisitos mínimos da norma.
ABNT NBR 16280:2014	Reforma em edificações – Sistema de gestão de reformas	Irregularidade, não conformidade	Irregularidade: condição que não atende requisitos técnicos ou administrativos. Não conformidade: desvio de normas ou do projeto técnico.
ABNT NBR 13752:1996	Perícias de engenharia na construção civil	Vício, Defeito, falha	Vício: imperfeição que compromete desempenho. Defeito: desconformidade detectável em elemento ou serviço. Falha: não desempenhar a função prevista.
ABNT NBR 14037:2011	Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação/manutenção	Anomalia, falha	Classifica e identifica anomalias e falhas que devem constar em manuais para orientar inspeção e manutenção.

Fonte: Elaboração do autor com base em Helene (1992), Thomaz (2001), Souza e Ripper (1998) e ABNT NBR 6118 (2023).

Quadro 3 - Manifestações patológicas nas edificações

fissuras e trincas	manchas	eflorescências	corrosão das armaduras	deterioração do concreto	infiltrações e percolações

Fonte: Nascimento et al. (2017).

Quadro 4 – Origens das lesões construtivas nas estruturas

efeitos térmicos	Efeitos higroscópicos	Atuação de sobrecargas	Deformações excessivas dos componentes da estrutura	Retração de produtos à base de cimento	Alterações químicas dos materiais componentes das estruturas

Fonte: Thomaz, E. (2020) 2ed.

Quadro 5 – Lesões em lajes devidas a umidades

Manifestações patológicas	Descrição técnica	Principais causas	Autores
Infiltrações (ascendentes/descendentes)	Entrada e migração de água através da laje, gerando manchas, gotejamento e perda de desempenho.	Falhas de impermeabilização; execução inadequada em ralos, rufos e tubulações; estanqueidade insuficiente nos encontros laje–parede.	Ripper, Souza e Pires (1998); Helene (1992).
Manchas e eflorescências (reações químicas dos materiais de construção: eflorescências, carbonatação e oxidação de armaduras)	Deposição de sais solúveis na superfície, indicando fluxo de água no interior do concreto.	Umidade constante; falta de drenos; infiltrações superiores; secagem lenta em lajes espessas.	Thomaz (1989); Ripper et al. (1998).
Destacamento de revestimentos (delaminação)	Perda de aderência de argamassas e cerâmicas devido à umidade retida ou infiltrações.	Impermeabilização inadequada; infiltração em tubulações; movimentações diferenciais.	Bauer (2011); Souza & Ripper (1998).
Corrosão de armaduras	Oxidação de barras p/ penetração de água; c/ fissuras longitudinais e perda de seção.	Baixo cobrimento; infiltração persistente; carbonatação; presença de íons agressivos.	Helene (1993); Medeiros & Sabbatini (1998).
Exsudação e gotejamento	Migração de água acumulada, aparecendo como pontos úmidos ou gotas no teto inferior.	Infiltração intensa; falhas nos sistemas de drenagem; ausência de proteção mecânica da impermeabilização.	Medeiros & Sabbatini (1998).
Mofo, fungos e odores	Crescimento biológico (umidade continuada e baixa ventilação).	Umidade acumulada; infiltrações não tratadas; ausência de ventilação; condensação.	Costa & Rebello (2010).
Fissuras por umidade e movimentações higroscópicas	Abertura e fechamento de fissuras devido à variação de umidade, c mais infiltração.	Movimentação térmica e higroscópica; retração do concreto; falhas de juntas.	Thomaz (1989); Helene (1992).

Fonte: Elaboração própria, com base em Ripper, Souza e Pires (1998), Helene (1992; 1993), Thomaz (1989), Bauer (2011), Medeiros e Sabbatini (1998) e Costa e Rebello (2010).

3. METODOLOGIA DO ESTUDO

Esta é uma pesquisa bibliográfica, de natureza qualitativa, com objetivos exploratórios e analíticos. A pesquisa é de natureza qualitativa e exploratória, baseada em revisão sistemática da literatura técnica e científica, com seleção de fontes conforme relevância, atualidade e consistência. O material foi submetido a uma análise crítica e comparativa, permitindo a identificação de padrões recorrentes de manifestações patológicas, seus agentes causadores e as principais estratégias de prevenção e intervenção recomendadas pela literatura. As informações obtidas foram organizadas e classificadas de acordo com o tipo de elemento estrutural, natureza da anomalia, fatores intrínsecos aos pavimentos de transição e mecanismos de degradação envolvidos. A síntese dos dados possibilitou a elaboração de quadros e discussões, contribuindo para a compreensão do estado da arte sobre o tema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

4.1 Os pavimentos de transição e as manifestações patológicas:

As lajes de transição apresentam elevada suscetibilidade a manifestações patológicas em função de suas características estruturais específicas, conforme sistematizado no Quadro 6, que mostra as anomalias recorrentes em pavimentos de transição associadas a agentes físicos, químicos e mecânicos, conforme discutido por Helene (1992), Thomaz (2001) e Souza e Ripper (1998).

Quadro 6 - Manifestações patológicas, agentes e terapias nos pavimentos de transição

Características intrínsecas	elemento	Manifestações patológicas	Agentes causadores	Terapias e medidas preventivas
Alteração da geometria e rigidez estrutural, com lajes de grandes dimensões e grandes vãos	Laje	Fissuras e trincas térmicas de expansão e retração; desplacamento de revestimentos;	(A) Movimentações térmicas, restrição de deformações; (B) Retração de produtos à base de cimento (concreto);	(A) Juntas de dilatação e/ou de encontro; divisão da laje em painéis menores, interligados através de barras de transferência, espessura de juntas de assentamento do revestimento recomendada ou uso de espaçadores; (B) Cura conforme recomendação; resfriamento do concreto ou uso de concreto com fibras (aço/nylon/polipropileno)
	Vigas	Trincas na interface viga/laje	Incompatibilidade de deformações; variações térmicas	Uso de vigas interligadas com juntas de movimento ou protendidas
	Pilares	Fissuração junto ao capitel de lajes cogumelo	Punção com concentração de tensões	Armaduras de punção; aumento de espessura da laje; capitéis; conforme NBR 6118
Carregamentos permanentes e acidentais elevados e variados	Lajes	Fissuração por deformações excessivas	Sobrecargas, impactos, fluência	Reforço estrutural; redistribuição de cargas; controle de uso
	Vigas	Trincas por flexão e cisalhamento	Solicitações estruturais elevadas	Reforço estrutural
Exposição diferenciada ao intemperismo	Lajes	Fissuras térmicas, infiltrações e umidades	Movimentações higroscópicas, eflorescências, carbonatação, oxidação da armadura	Impermeabilização; proteção superficial; manutenção periódica
Passagem de tubulações	Lajes	Infiltração entre a tubulação e a laje	Comportamento diferenciado pvc/concreto	Tratamento no local com selantes
juntas, muretas áreas técnicas aberturas	Lajes Vigas Pilares	Fissuração localizada, infiltrações	Descontinuidades estruturais	Detalhamento adequado; selantes flexíveis; compatibilização de projetos

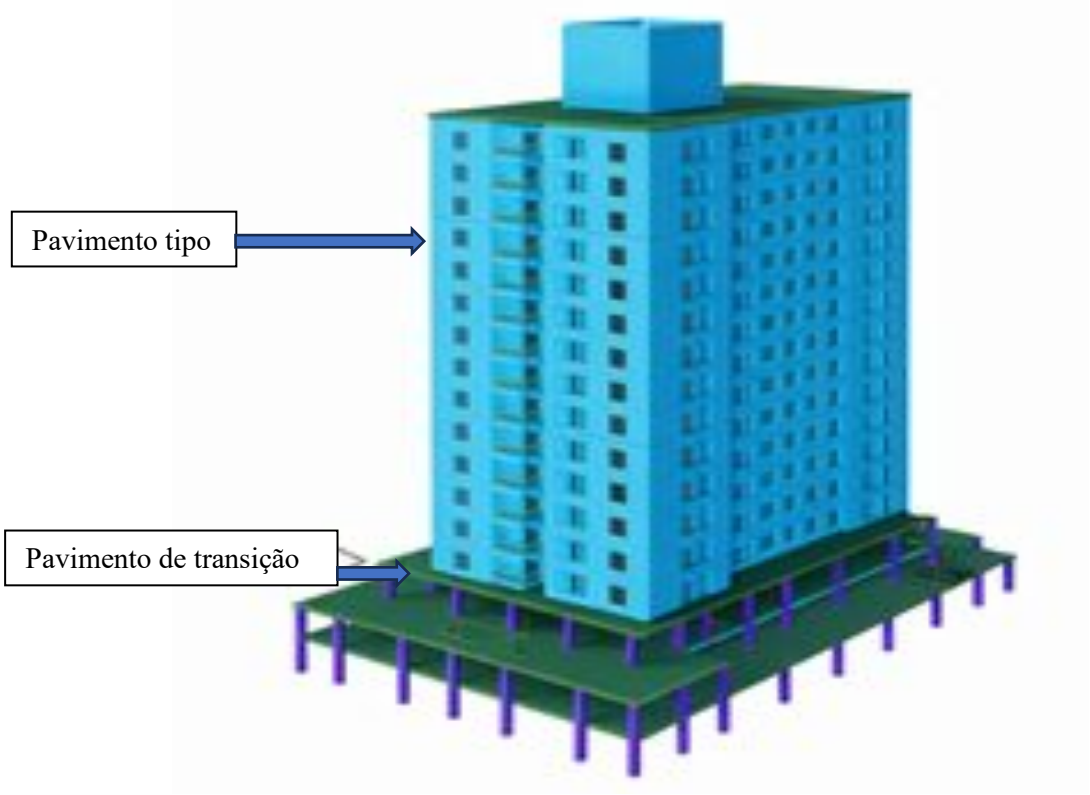
Fonte: Elaboração própria, a partir de Helene (1992), Thomaz (2001), Souza e Ripper (1998), ABNT NBR 6118 (2023) e ABNT NBR 15575.

4.2 Características específicas dos pavimentos de transição que contribuem como agentes indutores de avarias patológicas.

4.2.1 Mudança na arquitetura dos componentes estruturais (vigas e pilares e lajes):

As lajes de transição exercem papel estratégico no sistema estrutural das edificações ao promoverem a ligação entre pavimentos com comportamentos estruturais distintos. Em razão das mudanças abruptas de geometria, rigidez e carregamentos, esses elementos apresentam procederes diferenciados e maior suscetibilidade a manifestações patológicas. Lajes de grandes dimensões, vigas robustas e pilares com capitéis, necessários para viabilizar grandes vãos e usos especiais, geram descontinuidades estruturais relevantes. Como consequência, ocorrem estados de tensão complexos, deformações diferenciadas e concentração de esforços. Entre as patologías construtivas mais frequentes destacam-se fissuras e trincas de origem térmica, retração do concreto e incompatibilidade de deformações entre lajes, vigas e pilares. Assim, as lajes de transição demandam soluções específicas de projeto, execução e manutenção para garantir desempenho, durabilidade e segurança estrutural. A figura 3 ilustra as alterações na arquitetura estrutural dos pavimentos de transição em relação aos demais, mostrando a sua alta complexidade.

Figura 3 – Edifício com estrutura diferenciada entre os pavimentos tipo e o de transição



Fonte: BURLAMAQUE et al. (2022).

4.2.2 Carregamentos diferenciados no pavimento de transição

Os pavimentos de transição estão submetidos a carregamentos elevados e variáveis, frequentemente superiores aos dos pavimentos tipo, o que intensifica deformações diferidas, como fluência e retração, resultando em fissuração e flechas excessivas. A presença de água e alterações de uso agravam esses processos, favorecendo infiltrações, higroscopias e corrosão das armaduras. A Figura 4 representa a mudança dos carregamentos no pavimento de transição.

Figura 4 – Pavimento de transição com cargas altas e diversificadas

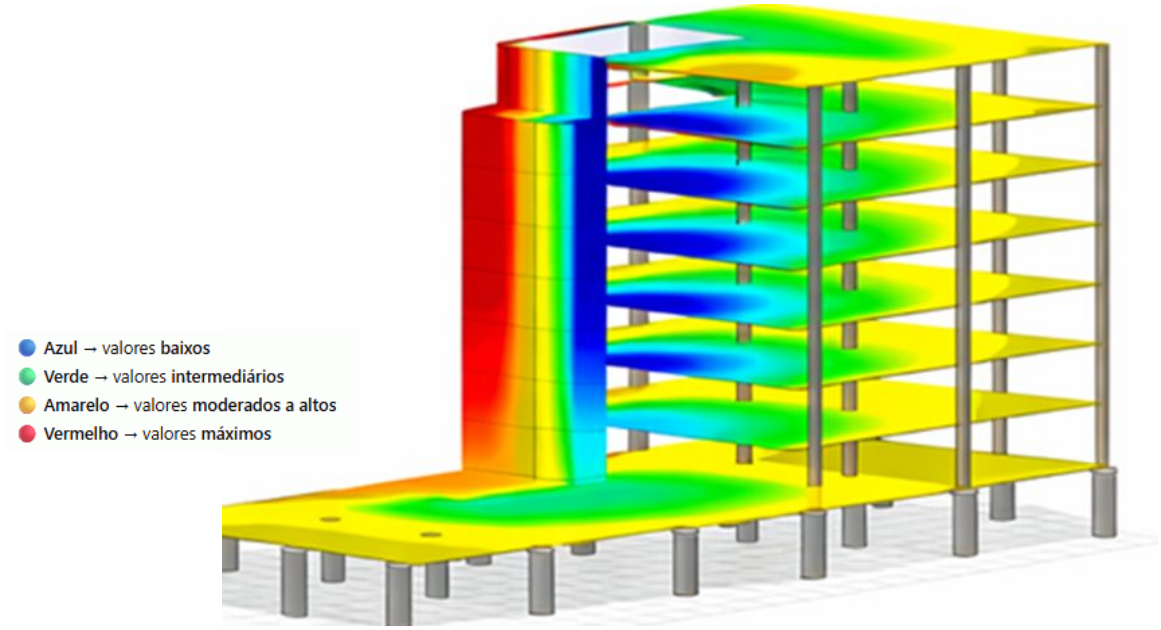


Fonte: (apud CARMO, Luciano Caetano do, 2019.1, material de aula — PUC Goiás).

4.2.3 Exposição diferenciada ao intemperismo

A exposição diferenciada ao intemperismo provoca variações térmicas e higroscópicas, induzindo movimentações no concreto que favorecem fissuração, infiltrações e processos de degradação, especialmente em áreas com presença permanente de umidade. Em áreas permanentemente sombreadas, a dificuldade de secagem mantém o concreto em estado saturado, acelerando a degradação dos materiais. Assim, a exposição ao intemperismo configura-se como fator crítico no desempenho das lajes de transição, exigindo soluções adequadas de impermeabilização, proteção superficial e manutenção preventiva para garantir a durabilidade e a segurança estrutural. A figura 5 é uma saída do Dlubal RFEM (modelo numérico de elementos finitos) exibindo: deformações globais (*global deformations) nu*m edifício com: pavimentos tipo; um pavimento de transição e um pavimento inferior com grande vão. As cores indicam níveis de deslocamento, mostra a distribuição de deformações em edifício com pavimento de transição, evidenciando a região mais solicitada estruturalmente, pavimentos de transição com rigidez, geometria e exposição diferentes dos pavimentos tipo.

Figura 5 – Modelo numérico de edifício com pavimento de transição (modelagem em CAD 3D) submetido a análise de deformações no software RFEM

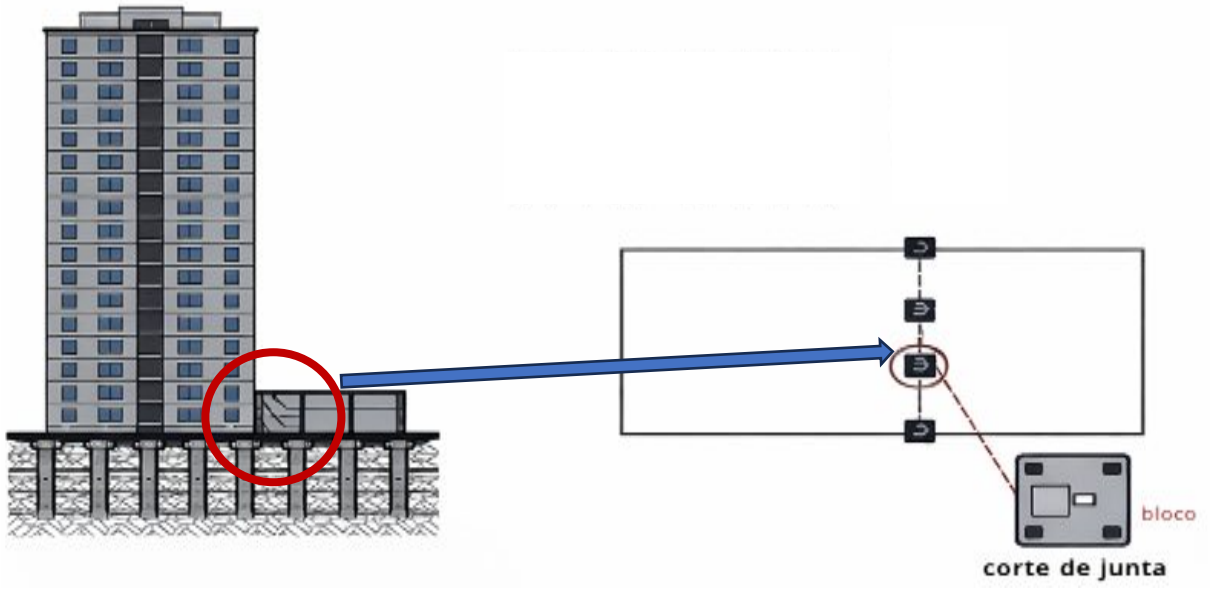


Fonte: DLUBAL SOFTWARE GMBH (RFEM), 2024. Observação: Os textos presentes nas figuras são ilustrativos; os diagnósticos e interpretações são descritos no texto.

4.2.4 Pavimentos de transição sob a ação de agentes associados causadores de avarias patológicas

Há casos como o esquematizado na Figura 6, adiante, indicando as manifestações patológicas originadas por causas associadas e mostrando, de forma esquemática, o local propenso ao aparecimento futuro das lesões. Segundo este autor, trata-se de um bloco constituído pela junção de dois blocos menores, cada qual com rigidez, cargas e exposição ao intemperismo diferenciados, dificultando a união das partes num só bloco monolítico.

Figura 6 - Trincas em edifícios por agentes associados



Fonte: Adaptado de DOMINICINI (2016).

5. CONCLUSÃO:

Os pavimentos de transição constituem zonas críticas das edificações, em que a elevada complexidade estrutural, aliada às sobrecargas funcionais e à exposição ambiental, favorece o surgimento de manifestações patológicas. Nesse contexto, os resultados obtidos fornecem subsídios relevantes ao aprimoramento das práticas de projeto, execução e manutenção desses sistemas construtivos. Ressalta-se, contudo, que o estudo se concentrou na caracterização dos pavimentos de transição quanto às suas especificidades construtivas e à propensão ao desenvolvimento de anomalias, não abrangendo a análise detalhada de materiais, técnicas de recuperação ou métodos de intervenção. Ademais, os casos analisados basearam-se em avaliações inferenciais, com vistas a subsidiar investigações futuras mais aprofundadas.

Como desdobramento, observa-se que pavimentos de cobertura do tipo *rooftop*, cada vez mais presentes em empreendimentos contemporâneos, apresentam características funcionais e construtivas semelhantes às lajes de transição. Esses espaços podem abrigar usos diversos, como áreas de lazer e convivência, compartilhando exigências estruturais, de impermeabilização, drenagem e manutenção, além de estarem sujeitos à ação do vento em edificações altas, o que pode gerar patologias análogas às discutidas.

Do ponto de vista técnico, recomenda-se especial atenção à verificação do puncionamento em lajes de transição, particularmente nas do tipo cogumelo e em situações de elevada concentração de cargas. A presença de jardins e áreas vegetadas implica aumento das cargas permanentes, exigindo adequada compatibilização entre os projetos estrutural, de impermeabilização e de drenagem. Adicionalmente, o crescimento radicular pode comprometer os sistemas de impermeabilização, sendo recomendável a adoção de soluções drenantes protegidas.

Devem ainda ser considerados elementos associados, como muros de arrimo (dimensionamento, impermeabilização e drenagem) e redes de águas cinzas, cuja configuração pode favorecer o acúmulo de resíduos (caixa de gordura) com risco de refluxo nos andares baixos. As juntas de dilatação, por sua vez, constituem pontos críticos, demandando concepção e manufatura por equipe especializada.

No que se refere às intervenções, destacam-se técnicas contemporâneas baseadas na aplicação de resinas, que se apresentam como alternativas menos invasivas e potencialmente mais econômicas e de bons resultados em comparação aos métodos convencionais.

Por fim, ressalta-se que a análise das manifestações patológicas deve ser conduzida de forma integrada, considerando a possível atuação simultânea de múltiplos agentes causais, de modo a garantir diagnósticos mais precisos e soluções mais eficazes e casos que demandam, por vezes, mais de um procedimento em alguns tipos de terapia.

REFERÊNCIAS

AN, P. et al. ***An experimental study on interconnected shear connector in steel–concrete composite structure. Materials Today: Proceedings***, v. 64, pt. 2, p. 948–955, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.208. Acesso em: 24 dez. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674:2012 – **Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão da manutenção**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2023 – **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452:2019 – **Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13752:1996 – **Perícias de engenharia na construção civil**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14037:2011 – **Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575:2013 – **Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16280:2014 – **Reforma em edificações – Sistema de gestão de reformas**. Rio de Janeiro, 2014.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BURLAMAQUE, D. B. et al. **Laje de transição protendida em edifício de alvenaria estrutural: estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto de Desenvolvimento e Doutrina (IDD),** 2020. Disponível em: https://www.idd.edu.br/downloads-idd/?tcc=51. Acesso em: 20 dez. 2025.

CASCUDO, O. **Inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1997.

COSTA, C. N.; REBELLO, Y. C. P. **Patologia das construções**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

DLUBAL SOFTWARE GMBH. RFEM – ***Structural Analysis Software***. Tiefenbach, Alemanha, 2024. Disponível em: https://www.dlubal.com. Acesso em: 20 jan. 2026.

DOMINICINI, W. K. **Patologia das construções: causas da deterioração das estruturas**. Vitória: UFES, 2016.

FUSCO, P. B. **Estruturas de concreto: solicitações normais, estados limites e deformações**. São Paulo: McGraw-Hill, 1994.

GUERRIN, A. **Estruturas de edifícios: concreto armado**. São Paulo: PINI, 2002.

HELENE, P. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

HELENE, P. **Manual de reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1993.

HELENE, P. **Durabilidade das estruturas de concreto**. São Paulo: IBRACON, 1997.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO E DOUTRINA – IDD. **Estudo estrutural de vigas e pavimentos de transição. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)**, Curitiba: IDD, 2022.

ISAIA, G. C. (org.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2010.

MEDEIROS, M. H. F.; SABBATINI, F. H. **Corrosão em estruturas de concreto armado**. São Paulo: PINI, 1998.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MOURA, T. R. C. **Análise estrutural de lajes nervuradas e caixões perdidos**. São Paulo: Blucher, 2020.

NASCIMENTO, J. C. et al. **Patologia das edificações**. Recife: EDUPE, 2017.

NORONHA, M. A. A. **Patologia das construções: textos diversos**. São Paulo: PINI, 2005.

NORONHA, M. A. A. **Engenharia diagnóstica aplicada às edificações**. São Paulo: PINI, 2014.

PIĘKARSKI, M. ***Composite steel–concrete slabs***. London: Elsevier, 2020.

POSSATO, A.; SILVA, F. H.; DUARTE FILHO, L. A. **Análise de vigas de transição em edifícios de concreto armado considerando diferentes formas para simular o efeito construtivo**. Engesul, 2024. Disponível em: http://engesulprojetos.com.br/uploads/noticias/anexo-artigo-analise-de-vigas-de-transicao-24041809561161.pdf. Acesso em: 24 dez. 2025.

RIPPER, T.; SOUZA, V. C. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

ROBERTS, Rory. ***On Track: Structural Transfer Design***. 25 abr. 2023. Disponível em: https://glotmansimpson.com/on-track-structural-transfer-design/. Acesso em: 04 abr. 2026.

SANTOS, L. M. **Exemplo de um projeto completo de um edifício de concreto armado**. São Paulo, 2001. Notas de aula.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: PINI, 1989.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. 2. ed**. São Paulo: PINI, 2001.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. 2. ed**. São Paulo: PINI, 2020.

CAPÍTULO 64 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/tre9zw37
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/8p5hz304

INFLUÊNCIA DA FISSURAÇÃO PRECOCE NA VIDA ÚTIL DE UMA PONTE DE ACESSO EM CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARINHO: ESTUDO DE CASO

Markus Moratti[1]*, Augusto Mamede[2]; Vagner Pontes[3]
*Autor de contato: markus.moratti@transpetro.com.br

[1] Paradas e Pequenas Obras, Petrobras Transporte S.A., Vitória, Brasil
[2] Integridade de Estruturas Civis, Petrobras Transporte S.A., Rio de Janeiro, Brasil
[3] Estudos, Simulações e Pareceres, Petrobras Transporte S.A., Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

A fissuração precoce é uma manifestação patológica recorrente e frequentemente avaliada de forma simplificada quanto ao seu impacto na durabilidade das estruturas de concreto armado. O presente trabalho analisa o quadro fissuratório de uma ponte de acesso a um píer, identificado durante a fabricação das peças, até as condições verificadas após 15 anos de exposição à atmosfera marinha. Foi realizada inspeção visual com mapeamento detalhado, identificando fissuras de até 0,8 mm, complementada por ensaios de medição do cobrimento por detecção eletromagnética, profundidade de carbonatação, penetração de cloretos (avaliação colorimétrica) e de medição do potencial de corrosão. Os resultados demonstram que a abordagem inadequada quanto ao impacto das fissuras na vida útil da instalação levou à interpretação equivocada de sua influência, comprometendo a durabilidade potencial da estrutura.
Palavras-chave: fissuração; durabilidade; concreto armado; ponte

ABSTRACT

Early cracking in reinforced concrete is a recurrent pathological manifestation, often assessed in a simplified manner regarding its impact on durability. The present study analyzes the cracking pattern of an access bridge to a pier, from its identification during the fabrication of the precast elements to the conditions observed after 15 years of exposure to the marine atmosphere. A detailed visual inspection with crack mapping was conducted, identifying crack widths of up to 0.8 mm, complemented by cover depth measurements, carbonation depth assessment, colorimetric testing for chloride penetration, and corrosion potential measurements. The results demonstrate that an inadequate approach to evaluating the impact of cracks on service life led to a misinterpretation of their influence, compromising the structure's potential durability.
Keywords: early-age cracking; durability; reinforced concrete; bridge

1. INTRODUÇÃO

A compreensão moderna do processo corrosivo em estruturas de concreto armado foi sistematizada a partir do modelo conceitual proposto por Tuutti (1982), no qual a vida útil é dividida em duas fases: iniciação e propagação. Nesse modelo, a vida útil está diretamente vinculada ao tempo necessário para que os agentes agressivos atinjam a armadura e desestabilizem a camada passivadora do aço. Consequentemente, qualquer mecanismo capaz de reduzir o período de iniciação resulta na redução da vida útil da estrutura.

Tuutti (1982) ainda afirma que: "Uma fissura no concreto altera radicalmente a permeabilidade do material ao seu redor. Diversas substâncias podem, portanto, penetrar no concreto muito mais rapidamente através das fissuras do que através do sistema de poros do concreto". Dessa forma, embora o concreto íntegro apresente certo grau de resistência à difusão, a existência de fissuras pode reduzir localmente essa capacidade protetiva, antecipando o atingimento do teor crítico de cloretos na interface aço-concreto e, consequentemente, a despassivação das armaduras.

Recentemente, estudos evidenciaram que a presença de fissuras no concreto, mesmo com aberturas reduzidas, pode acelerar significativamente o transporte de cloretos e antecipar a iniciação da corrosão das armaduras. Revisões e modelagens numéricas indicam que fissuras constituem caminhos preferenciais para a penetração de agentes agressivos, reduzindo o período de iniciação da vida útil (POURSAEE; ROSS, 2022; SOUZA; LEONEL, 2025), reforçando a necessidade de avaliação criteriosa de sua ocorrência, origem e tratamento em ambientes marinhos.

Helene (2011) ressalta que a durabilidade deve ser tratada como um requisito explícito de projeto, não sendo mera consequência da resistência mecânica do concreto. A vida útil das estruturas depende da adequada combinação entre a classe de agressividade ambiental, a qualidade do concreto, a espessura de cobrimento e o controle da fissuração. Nesse contexto, destaca-se a relevância da avaliação da fissuração em estruturas expostas a atmosferas marinhas, uma vez que as fissuras desempenham papel determinante ao intensificar os mecanismos de transporte de agentes agressivos, favorecendo o ingresso de cloretos. Conforme discutido por Gjørv (2016), a corrosão das armaduras induzida por cloretos constitui o principal mecanismo de deterioração em estruturas de concreto armado nesses ambientes, superando, em relevância, os processos de degradação da própria matriz cimentícia.

Nesse contexto, este trabalho apresenta o estudo de caso de uma ponte de acesso integrante de um píer, construída em ambiente de elevada agressividade. A estrutura apresentou fissuração nas primeiras idades e, após aproximadamente 15 anos de exposição à atmosfera marinha, evidenciou processo ativo de corrosão das armaduras em diversas vigas longitudinais.

O objetivo deste artigo é verificar, à luz dos conceitos de vida útil propostos por Tuutti (1982) e Helene (2011), se a abordagem inadequada no tratamento das fissuras de retração pode ter contribuído para a redução da vida útil da estrutura. Para tanto, emprega-se uma abordagem qualitativa baseada na análise documental do histórico da obra, no levantamento das manifestações patológicas identificadas em inspeção visual, nos resultados dos ensaios e na confrontação dos dados obtidos com os fundamentos teóricos e experimentais disponíveis na literatura sobre difusão de cloretos em concreto fissurado. Busca-se, assim, contribuir para a discussão técnica sobre a criticidade da fissuração em estruturas expostas a ambientes com elevada concentração de cloretos.

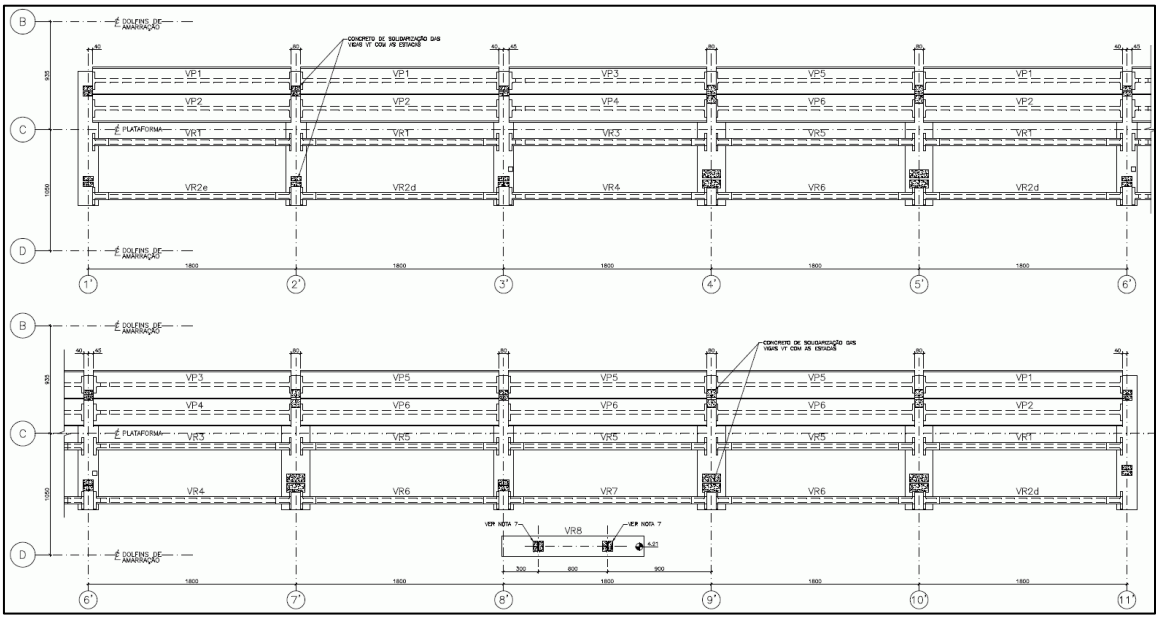
2. CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA

A estrutura consiste em um píer, cujas vigas pré-moldadas longitudinais da ponte de acesso e tubovia apresentaram quadro fissuratório nas primeiras idades, durante verificação pós-concretagem. Tais ocorrências foram verificadas e registradas na documentação de qualidade da obra (*databook*), poucos dias após a concretagem, durante a desforma das laterais das vigas.

2.1 Estrutura do píer

A ponte de acesso foi executada entre os anos de 2009 e 2010, sendo composta por 10 vãos de 18 metros, totalizando 180 metros de extensão (Figura 1).

Figura 1 – Ponte de acesso com a disposição das vigas VP e VR em planta

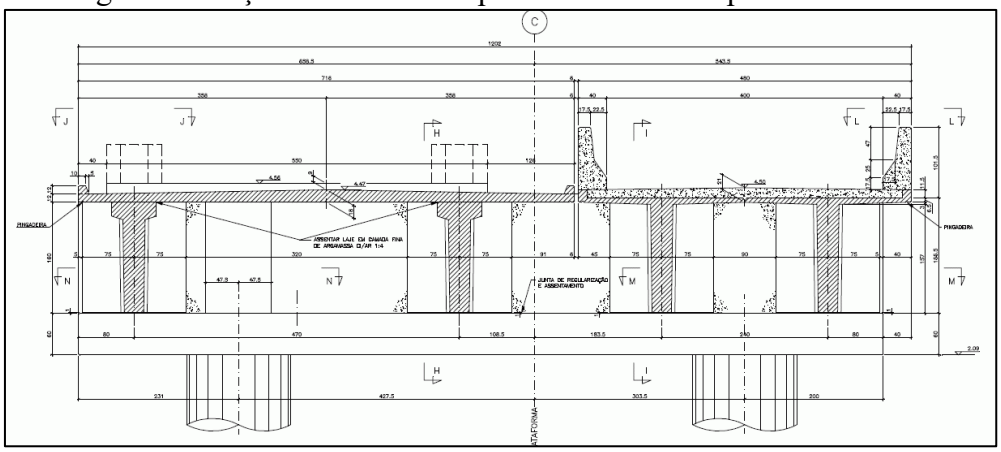


Fonte: os autores

Em cada vão, o sistema estrutural é constituído por duas vigas longitudinais pré-moldadas tipo T (VP) destinadas à ponte de acesso e duas vigas retangulares (VR) associadas à tubovia (Figura 2). As vigas longitudinais têm 17 metros de comprimento e são apoiadas e consolidadas sobre vigas mistas (VT), compostas por trecho pré-moldado complementado por concreto moldado *in loco*, tornando o sistema de vigas hiperestático.

Para o projeto, foi adotada a Classe de Agressividade Ambiental IV – Risco elevado de deterioração da estrutura, conforme a NBR 6118:2007 (ABNT, 2007) vigente no período, correspondente a ambiente marinho com respingos de maré. A Figura 3 ilustra o ambiente de implantação da estrutura.

Figura 2 – Seção transversal da ponte de acesso do píer e tubovia.



Fonte: os autores

Figura 3 – Vista inferior da ponte de acesso e tubovia. Vigas VP (esquerda) e VR (direita)



Fonte: os autores

No que se refere aos materiais, o concreto foi especificado com resistência característica à compressão (f_{ck}) igual a 40 MPa, relação água/aglomerante igual a 0,40, consumo de cimento (CPIII 40 RS) de 414 kg/m³ e adição de sílica ativa correspondente a 8% da massa de cimento.

O concreto executado foi usinado com a verificação da resistência realizada por amostragem total. Foram moldados corpos de prova para ensaios de resistência à compressão nas idades de 24 horas, 48 horas, 3 dias, 7 dias e 28 dias, permitindo o acompanhamento da evolução da resistência desde as primeiras idades. A resistência à compressão média obtida aos 28 dias foi de 65,4 MPa, com desvio padrão de 7,5 MPa, sendo o valor do menor exemplar igual a 53,1 MPa, evidenciando elevado desempenho mecânico do material empregado.

Além disso, todos os elementos estruturais receberam sistema de proteção superficial constituído por fundo epóxi, com espessura de película seca de 100 µm, e acabamento em poliuretano, com espessura de 70 µm. A aplicação foi executada conforme procedimento técnico previamente estabelecido, com controle das condições ambientais, preparação de superfície e medição sistemática de espessura de película seca, sendo os serviços acompanhados e certificados por inspetor de pintura qualificado.

Ressalta-se, contudo, que a vida útil de projeto não está explícita na documentação técnica disponível. A inexistência desse parâmetro formal dificulta a comparação entre desempenho esperado e desempenho observado, especialmente diante da constatação, em inspeções rotineiras do píer, de manifestações patológicas relacionadas à corrosão de armaduras em período inferior a 10 anos de serviço, mesmo em presença de concreto de baixa relação a/c e sistema de proteção superficial. Portanto, no presente artigo a comparação se dará com a vida útil "potencial".

2.2 Histórico das manifestações patológicas

Durante a fabricação dos elementos pré-moldados, realizada no canteiro de obras, foi identificado quadro fissuratório em todas as vigas longitudinais da ponte de acesso, com aberturas variando entre 0,1 e 0,3 mm, logo após a desforma das laterais das vigas. A não conformidade foi identificada como "fissuras de retração restringida" e tratada por procedimento específico de reparo em peças pré-moldadas. Todas as informações relativas ao controle de qualidade, recebimento dos materiais aplicados e registros das não conformidades encontram-se devidamente documentadas no *databook* da obra.

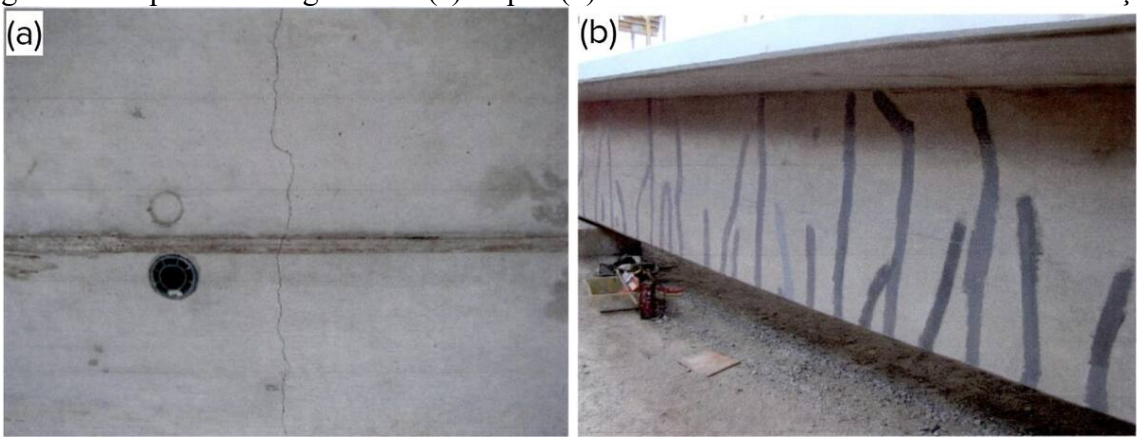
De fato, a geometria das vigas, com extremidades no formato "T" em planta e o próprio sistema de fôrmas, contribuíram para a restrição à retração das primeiras idades. Soma-se a isso o fato de o concreto possuir relação água/cimento de 0,40, condição associada a maior suscetibilidade à retração autógena. A combinação entre retração e a restrição resultou no desenvolvimento de tensões de tração precoces, superiores à resistência do concreto jovem, culminando na formação de fissuras. Agravaram esse quadro as condições de concretagem realizadas a céu aberto, frequentemente nos horários de maior temperatura do dia, aliadas à forte incidência de ventos característica da região costeira e à ausência de barreiras e dispositivos de proteção, resultando em elevadas taxas de evaporação superficial que criaram as condições propícias ao desenvolvimento da retração plástica.

Do ponto de vista estrutural, as vigas foram consolidadas às vigas transversais por meio de engastamento, tornando o sistema hiperestático, que do ponto de vista estrutural reduz os momentos máximos positivos no meio dos vãos; entretanto, tal configuração implicou na imposição de restrições às deformações livres dos elementos, em especial à retração por secagem, uma vez que a consolidação ocorreu ainda durante o período ativo desse fenômeno e, consequentemente, o desenvolvimento de tensões adicionais no concreto jovem, favorecendo a formação de fissuração.

Foram tomadas ações corretivas após a verificação do quadro fissuratório nas primeiras vigas concretadas, como a instalação de isopor entre as formas, permitindo a deformação do sistema, incremento das armaduras de pele e desforma antecipada das laterais para início do processo de cura. Tais ações minimizaram as aberturas e quantidade das fissuras, mas não mitigaram sua ocorrência.

Conforme estabelecido no procedimento de reparo dos pré-moldados da obra em questão, fissuras com abertura inferior a 0,2 mm não demandaram intervenção; fissuras com abertura entre 0,2 mm e 0,5 mm deveriam ser tratadas mediante limpeza da superfície, lixamento em faixa adjacente e selagem com resina epóxi de baixa viscosidade (Figura 4).

Figura 4 – Aspecto das vigas antes (a) e após (b) o tratamento realizado durante a construção



Fonte: os autores

No ano de 2019, menos de 10 anos após o início das operações do píer, durante as inspeções de rotina do píer, foram evidenciados os primeiros sinais de fissuração em decorrência do processo corrosivo das armaduras.

3. METODOLOGIA

A avaliação da ponte de acesso foi conduzida por meio de inspeção visual sistematizada e da realização de ensaios destrutivos e não destrutivos voltados à caracterização do concreto de cobrimento e das armaduras. Os ensaios — incluindo detecção eletromagnética, determinação da profundidade de carbonatação, avaliação da penetração de cloretos e medição de potencial de corrosão — foram executados por amostragem em duas vigas representativas, selecionadas nos vãos mais críticos da estrutura: a viga VP2, localizada no primeiro vão, e a viga VP4, situada no terceiro vão. A escolha desses elementos fundamentou-se na presença de sinais visuais mais pronunciados, maior evidência de processos corrosivos e condições ambientais mais severas, em função da proximidade com a zona de arrebentação (Figura 5). O programa experimental teve por objetivo avaliar o avanço dos agentes agressivos em relação às armaduras, identificar a ocorrência de processos corrosivos ativos e verificar se o ingresso desses agentes ocorreu por difusão através do cobrimento ou se as fissuras previamente estabelecidas atuaram como vias preferenciais, especialmente para os íons cloreto.

Figura 5 – Vista dos dois primeiros vãos da ponte de acesso



Fonte: os autores

3.1 Inspeção visual e mapeamento de fissuras

Foi realizada inspeção visual detalhada em todos os vãos da ponte de acesso, com ênfase nas vigas longitudinais VP e VR. O levantamento contemplou:

- registro fotográfico;
- identificação de danos observáveis;
- mapeamento das fissuras ao longo das faces laterais e inferiores;
- medição de abertura com auxílio de fissurômetro;
- identificação de regiões com desplacamento de concreto e exposição de armaduras.

As fissuras foram classificadas quanto à orientação, continuidade e abertura. Foram registradas aberturas variando de microfissuras até valores máximos da ordem de 0,8 mm. Também foi avaliada a presença de manifestações associadas, como manchas de óxidos, eflorescências e indícios de delaminação.

3.2 Medição do cobrimento e detecção eletromagnética das armaduras

A medição do cobrimento foi determinada por meio de equipamento de detecção eletromagnética, modelo Bosch D-tect 150, permitindo a localização das barras e a medição da espessura de concreto sobre as armaduras. As medições foram realizadas em pontos distribuídos ao longo dos vãos. A localização das armaduras serviu para determinar ainda a malha de pontos para o ensaio de potencial de corrosão.

3.3 Determinação da profundidade de carbonatação

A profundidade de carbonatação foi avaliada mediante aplicação de solução alcoólica de fenolftaleína em superfícies recém-expostas de acordo com a DIN EN 14630 (DIN, 2007).

3.4 Avaliação da penetração de cloretos

A verificação qualitativa da presença de cloretos foi realizada por meio de ensaio colorimétrico, com aplicação de solução de nitrato de prata ($AgNO_3$) em superfícies recém-fraturadas, conforme metodologia consolidada em estudos de estado da arte (REAL et al., 2015). A alteração de coloração permitiu identificar a profundidade aproximada de penetração de íons cloreto.

3.5 Medição do potencial de corrosão

O estado eletroquímico das armaduras foi avaliado por meio de medições de potencial de corrosão conforme ASTM C876 (ASTM, 2015), utilizando eletrodo de referência de Cu-$CuSO_4$. As leituras foram distribuídas ao longo das vigas, com maior densidade de pontos nas regiões que apresentavam maior criticidade, permitindo identificar todas as áreas com processo corrosivo, mesmo que localizadas.

4. RESULTADOS

As condições encontradas durante a inspeção realizada estão apresentadas nas seções 4.1 a 4.5. As principais manifestações patológicas observadas são decorrentes dos fenômenos de retração ocorridos ainda nas primeiras idades dos elementos pré-moldados.

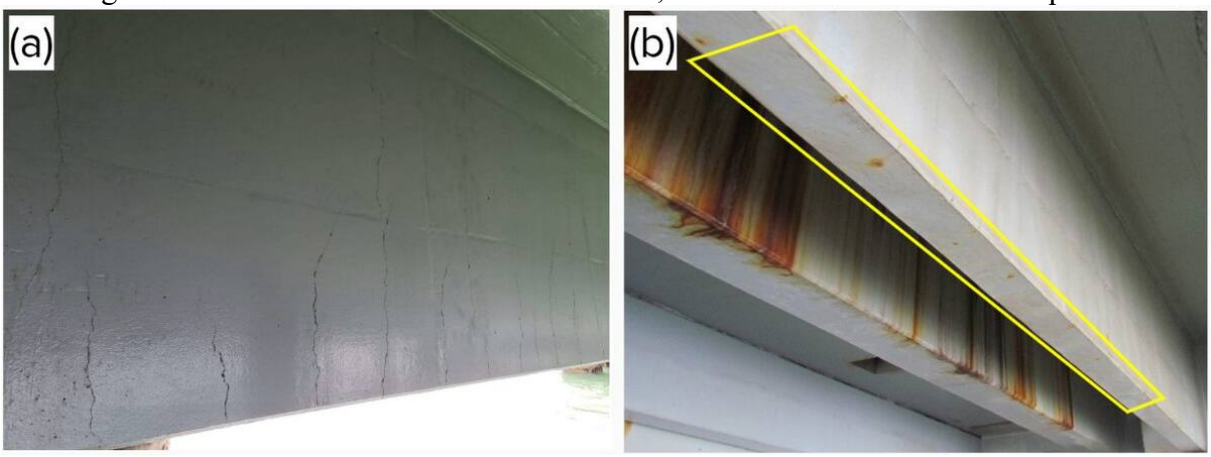
4.1 Inspeção visual e mapeamento das anomalias

A análise das estruturas correspondentes à ponte de acesso e ao tubovia revelou a presença de múltiplas manifestações patológicas, predominantemente associadas à retração e deterioração do concreto induzida por corrosão das armaduras. As anomalias observadas foram categorizadas conforme discriminado nos parágrafos subsequentes.

4.1.1 Fissuração por retração

Foram identificadas fissuras compatíveis com fenômenos de retração em diversos elementos estruturais, notadamente em vigas longitudinais da ponte de acesso (VP) e tubovia (VR). As fissuras apresentaram abertura característica entre 0,05 e 0,8 mm. Em grande parte dos casos, as fissuras não evidenciaram a presença de produtos de corrosão, sugerindo tratar-se de manifestação primária decorrente de fenômenos termo hidráulicos durante as fases iniciais de cura do concreto (retração plástica e/ou autógena) e retração por secagem. Em outros pontos de inspeção, constatou-se a formação de depósitos de óxidos ferrosos nas bordas das fissuras, indicando ingresso dos agentes agressivos, em especial, os íons cloreto, e deflagração de deterioração localizada das barras de aço (Figura 6).

Figura 6– fissuras com abertura inferiores a 0,2 mm observadas na VP1 do quinto vão.



Fonte: os autores

Foi possível observar ainda, fissuras nas regiões reparadas durante a fase de construção, conforme procedimento citado no item 2.2, evidenciando a ineficiência do procedimento de reparo.

4.1.2 Fissuração e desplacamento decorrentes de corrosão de armaduras

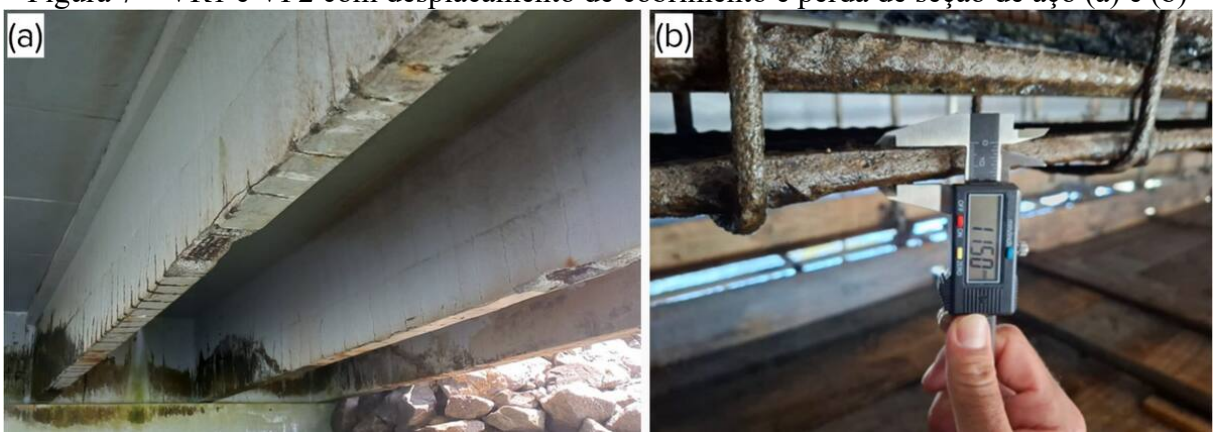
Em diversos elementos estruturais, especialmente na região inferior das vigas, foram identificadas fissuras longitudinais paralelas às armaduras, típicas de expansão por produtos de corrosão.

Tais fissuras são compatíveis com o estado de corrosão ativo, indicando que o processo já ultrapassou a fase de iniciação e encontra-se em fase de propagação

Nas regiões em que o processo corrosivo atingiu estágios mais avançados de desenvolvimento, constatou-se a ocorrência de desplacamento do concreto de cobrimento (Figura 7 a), com exposição

direta das armaduras e perda de seção de quase 50% do diâmetro (a perda de seção foi confirmada durante as obras de recuperação estrutural, conforme Figura 7 b).

Figura 7 – VR1 e VP2 com desplacamento de cobrimento e perda de seção de aço (a) e (b)



Fonte: os autores

4.2 Medição do cobrimento e detecção eletromagnética das armaduras

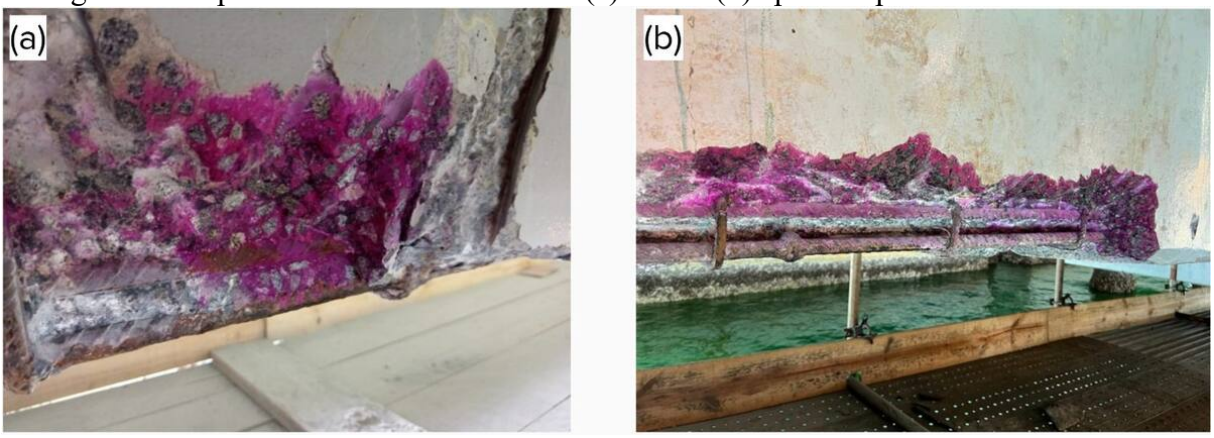
As leituras do cobrimento foram realizadas nas colunas definidas para os ensaios de potencial de corrosão: espaçamento entre 0,60 e 1,05 m. Os resultados obtidos indicaram um cobrimento médio de 4,5 cm, em relação à superfície externa do concreto até a armadura mais próxima.

O cobrimento de projeto previsto para as vigas do píer é de 5,0 cm (cobrimento nominal), já considerando as tolerâncias construtivas. Considerando a tolerância do equipamento de detecção eletromagnética (±5 mm em concreto seco e ±10 mm em concreto úmido, segundo o manual do fabricante), e os resultados das correlações entre as medidas reais de cobrimento e as leituras do aparelho, considera-se que o cobrimento é adequado aos critérios da NBR 6118 (ABNT, 2007) para as condições ambientais onde a estrutura encontra-se inserida.

4.3 Profundidade de carbonatação

Os ensaios de verificação da profundidade de carbonatação indicaram a manutenção da alcalinidade do cobrimento na quase totalidade das seções avaliadas. Observou-se coloração característica púrpura em praticamente toda a espessura do concreto analisado, evidenciando valores de pH compatíveis com a condição passivante das armaduras, conforme ilustrado na Figura 8. Esses resultados confirmam que o processo de carbonatação não se configurou como mecanismo relevante de deterioração para os elementos estruturais analisados.

Figura 8 – Superfície do concreto da VP2 (a) e VP4 (b) após a aspersão de fenolftaleína



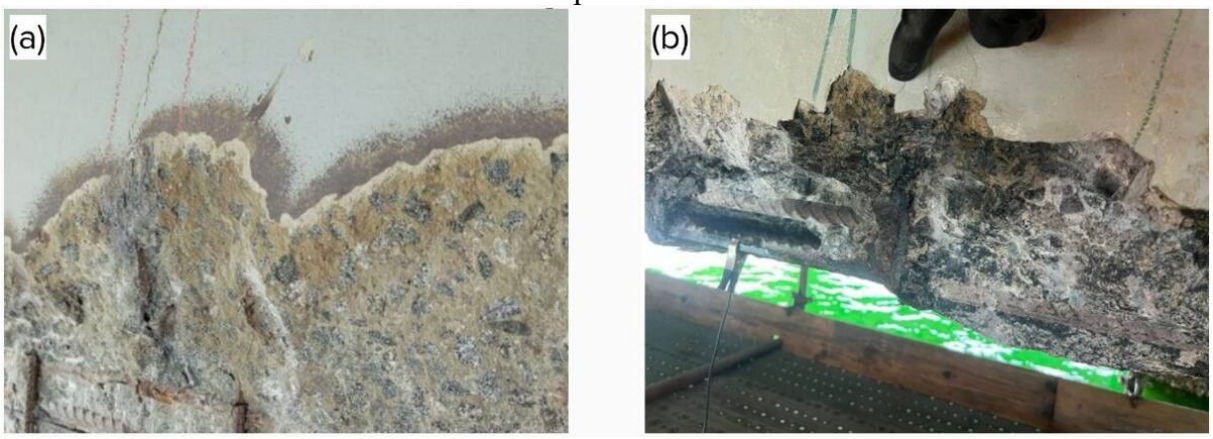
Fonte: os autores

4.4 Penetração de cloretos

Os ensaios evidenciaram predominantemente coloração marrom nas áreas sem contaminação, característica da ausência de cloretos livres reativos. Nas regiões onde ocorre a presença de íons cloreto, a reação química entre o nitrato de prata e o íon cloreto resulta na formação de cloreto de prata (AgCl), identificado visualmente por coloração esbranquiçada.

No caso em análise, as áreas esbranquiçadas apresentaram-se com espessuras contaminadas insignificantes (Figura 9), não atingindo o cobrimento das armaduras, conforme indicado nas figuras apresentadas. Esses resultados corroboram para a conclusão de que o ingresso de cloretos pelo concreto de cobrimento íntegro foi desprezível, apresentando excelente comportamento frente aos agentes agressivos, e reforçando o entendimento de que a deterioração observada está associada a vias preferenciais de transporte, notadamente as fissuras pré-existentes.

Figura 9 – Superfície do concreto da VP2 (a) e VP4 (b) após a aspersão de solução de nitrato de prata



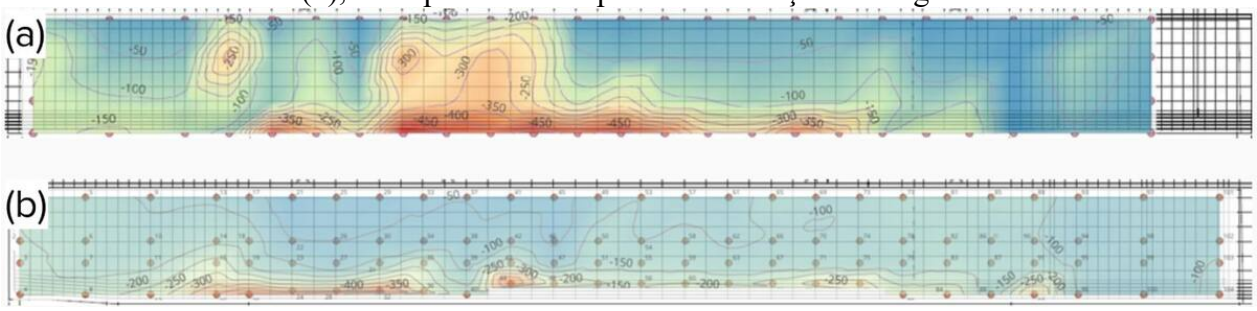
Fonte: os autores

4.5 Potencial de corrosão

As leituras mais eletronegativas concentraram-se nas regiões inferiores das vigas longitudinais, e em alguns pontos, nas regiões superiores das vigas, coincidindo com as fissuras, o que indica maior

atividade eletroquímica nas zonas afetadas por fissuras e ingresso localizado de agentes agressivos. Nas demais regiões, os potenciais permaneceram acima de –200 mV, indicando condição passiva das armaduras, compatível com o bom desempenho observado nos ensaios de penetração de cloretos e de carbonatação. A Figura 10 apresenta o mapa dos contornos equipotenciais

Figura 10 – Contornos de equipotenciais da viga VP2 do primeiro vão (a) e VP4 do terceiro vão (b), sobrepostas com a planta de armação das vigas



Fonte: os autores

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo evidenciou que a durabilidade e o desempenho satisfatório de estruturas de concreto vão além da simples obtenção de resistências mecânicas elevadas ou mesmo a utilização de concretos com baixa permeabilidade intrínseca e ainda, a utilização de revestimentos protetivos. Observou-se que, mesmo em situações nas quais o material apresentou excelente resistência ao ingresso de agentes agressivos quando íntegro, a estrutura como um todo demonstrou desempenho aquém do esperado em termos de vida útil e comportamento em serviço.

As fissuras identificadas constituíram-se como caminhos preferenciais para a penetração de agentes deletérios, assumindo papel predominante em relação às características da matriz cimentícia. Tal constatação reforça a necessidade imperativa de uma abordagem holística no projeto e execução de estruturas de concreto, onde o controle fissuratório deve figurar como elemento central desde as etapas iniciais de concepção. A prevenção e mitigação dessas fissuras precoces, muitas vezes negligenciadas por não comprometerem imediatamente a capacidade resistente da estrutura, revelaram-se essenciais para a preservação da integridade do sistema de proteção do concreto.

Adicionalmente, os resultados demonstraram que aspectos como geometria das peças, dimensionamento adequado de armaduras de controle de fissuração, e especificação de materiais com menor retração devem ser criteriosamente avaliados em conjunto, uma vez que interferem diretamente no padrão de fissuração e, consequentemente, na vulnerabilidade da estrutura aos mecanismos de degradação. Neste sentido, recomenda-se ainda:

- A incorporação de aditivos inibidores ou compensadores de retração e fibras ao concreto, que têm demonstrado eficácia comprovada na redução da fissuração por retração e no controle da propagação e abertura de fissuras, contribuindo significativamente para a integridade estrutural ao longo da vida útil, principalmente em estruturas inseridas em ambientes de alta agressividade, como no caso dos píeres;
- A avaliação do uso de cicatrizantes, que podem contribuir para a selagem de fissuras de pequena abertura e para a redução da permeabilidade superficial;
- Caso as medidas adotadas se revelem ineficazes para impedir o aparecimento das fissuras, recomenda-se que o tratamento corretivo seja conduzido com base em diagnóstico técnico

específico, contemplando a caracterização quanto à natureza (ativa ou passiva), abertura, extensão e condições de exposição ambiental, de modo a assegurar a adequada compatibilidade entre o mecanismo de fissuração e a técnica de intervenção escolhida.

Conclui-se, portanto, que a garantia de durabilidade e desempenho estrutural exige a observância rigorosa dos princípios já consolidados no estudo do comportamento do concreto nas primeiras idades no que diz respeito à prevenção e controle da fissuração, adotando uma visão integrada do comportamento da estrutura ao longo de toda a sua vida útil. Tal abordagem pressupõe a consideração das tensões desenvolvidas nas primeiras horas após a concretagem, dos fenômenos de retração e fissuração iniciais, bem como das condições de exposição e solicitações atuantes em serviço. Somente mediante essa análise abrangente, aliada a controle tecnológico rigoroso e supervisão técnica qualificada, será possível assegurar estruturas efetivamente duráveis e seguras ao longo do tempo.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2007: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2007.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM C876/C876M – 15 (Reapproved 2022). Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.** West Conshohocken, PA: ASTM International, 2022.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN 14630:2007. Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method.** Berlin: DIN, 2007.

GJØRV, Odd E. **Durability Design of Concrete Structures in Severe Environments.** 2. ed. Nova Iorque: CRC *Press*, 2016. 270 p.

HELENE, P. R. L. **Vida útil das estruturas de concreto**. In: ISAIA, G. C. (org.). Concreto: ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. cap. 22.

POURSAEE, A.; ROSS, B. **The role of cracks in chloride-induced corrosion of carbon steel in concrete: review**. Corrosion and Materials Degradation, v. 3, n. 2, p. 258–269, 2022. https://doi.org/10.3390/cmd3020015.

REAL, L. V., OLIVEIRA, D. R. B., SOARES, T., MEDEIROS, M. H. F. **Método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata para avaliação da penetração de cloretos em concreto: estado da arte**. Revista Alconpat, 5 (2), 149-159, 2015. https://doi.org/10.21041/ra.v5i2.84

SOUZA, V. B.; LEONEL, E. D. **The influence of cracks on the corrosion initiation time caused by chloride diffusion in concrete structures using the Boundary Element Method**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 18, n. 1, e18108, 2025. https://doi.org/10.1590/S1983-41952025000800008.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete.** Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982. (CBI Research, 4:82).

CAPÍTULO 65 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/86yeab46
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/7jv42x56

MAPEAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÃO HISTÓRICA: ESTUDO DE CASO DA IGREJA NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO, VILA VELHA/ES

Otávia Gabriela Corradi Pergentino[1]*, Geraldo André Rosseto Barreto[2];
*Autor de contato: otavia.corradi@gmail.com

[1]Estudante da Graduação em Engenharia Civil, Universidade Vila Velha, Vila Velha, Brasil
[2] Professor Mestre da Graduação em Engenharia Civil, Universidade Vila Velha, Vila Velha, Brasil

RESUMO

Este artigo apresenta o mapeamento e a análise das principais manifestações patológicas observadas na Igreja Nossa Senhora do Rosário, localizada na Prainha, em Vila Velha/ES. O estudo prioriza ocorrências associadas à umidade, considerando o contexto litorâneo da edificação e a recorrência de danos registrada em documentos técnicos e em vistoria recente. A metodologia combinou pesquisa documental, inspeção visual in loco e registro fotográfico, com posterior sistematização comparativa das manifestações patológicas identificadas nas fachadas e em ambientes internos acessíveis. Os resultados evidenciaram predominância de danos na base das paredes e em regiões sujeitas ao escorrimento de água pluvial, incluindo desagregação do reboco, manchas de umidade, eflorescência, sujidade, mofo e presença de vegetação. Também foram observados pontos de infestação biológica em ambientes com ventilação limitada e microclima interno mais úmido. A análise comparativa com relatórios anteriores sugere a persistência da atuação da umidade como principal agente de degradação ao longo do tempo, reforçando a necessidade de estratégias contínuas de conservação preventiva, com ênfase em manutenção, monitoramento e compatibilidade dos materiais empregados nas intervenções.
Palavras-chave: patologias das construções; diagnóstico de manifestações patológicas; edificações históricas.

ABSTRACT

This article presents the mapping and analysis of the main pathological manifestations observed in the Nossa Senhora do Rosário Church, located in Prainha, Vila Velha/ES. The study prioritizes occurrences associated with moisture, considering the building's coastal context and the recurrence of damage recorded in technical documents and a recent inspection. The methodology combined documentary research, on-site visual inspection, and photographic records, followed by a comparative systematization of the occurrences identified on the façades and in accessible interior spaces. The results showed a predominance of manifestations at the base of the walls and in areas subject to rainwater runoff, including plaster disintegration, damp stains, efflorescence, dirt, mold,

and the presence of vegetation. Points of biological infestation were also observed in environments with limited ventilation and a more humid indoor microclimate. The comparative analysis with previous reports suggests the persistence of moisture as the main degradation agent over time, reinforcing the need for continuous preventive conservation strategies, with emphasis on maintenance, systematic monitoring, and compatibility of the materials used in interventions.
Keywords: pathologies in constructions; diagnosis of pathological manifestations; historic buildings.

1. INTRODUÇÃO

A presença de danos, como trincas, rachaduras, desagregações e infiltrações, é frequente em edificações antigas. No caso dessas construções, grande parte das alterações observadas está relacionada ao uso prolongado sem manutenção adequada, à realização de intervenções incompatíveis ao longo do tempo e à ação contínua de agentes externos, como variações climáticas, umidade e exposição às intempéries. Em conjunto, esses fatores contribuem para o comprometimento gradual do estado de conservação da edificação (Verçoza, 2017).

No Brasil, apesar da grande quantidade de edificações históricas, a preocupação com a preservação dessas estruturas passou a se intensificar apenas a partir da década de 1980, sendo antes um tema pouco explorado na engenharia (Tésio, 2018).

Nesse contexto, a Igreja Nossa Senhora do Rosário, localizada em Vila Velha/ES, constitui um objeto de estudo relevante por sua importância histórica e arquitetônica, diretamente ligada ao processo de ocupação colonial capixaba e à formação urbana do município. A edificação está entre as igrejas mais antigas em atividade religiosa no Brasil, sendo reconhecida como a mais antiga do Espírito Santo, o que reforça sua relevância patrimonial (IPHAN, 2025).

Ao longo dos anos, a ação do tempo e de agentes externos favoreceu o surgimento e a recorrência de manifestações patológicas, afetando tanto a integridade quanto o aspecto visual da edificação (IPHAN, 2022). Esse cenário evidencia a necessidade de compreender os fatores associados ao aparecimento e à recorrência desses danos. Dessa forma, este artigo tem como objetivo mapear e analisar as principais manifestações patológicas observadas na Igreja Nossa Senhora do Rosário, buscando compreender como essas manifestações se distribuem no edifício em função das condições ambientais do entorno, das características construtivas do imóvel e do histórico de intervenções e manutenção registrado em documentos técnicos.

2. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido a partir de uma abordagem qualitativa, com caráter descritivo e comparativo, baseada na análise de documentos e na inspeção visual da Igreja Nossa Senhora do Rosário, em Vila Velha/ES. O estudo teve como foco identificar, registrar e comparar as manifestações patológicas presentes na edificação, com foco nas ocorrências associadas à umidade.

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas. Na primeira, realizou-se a revisão documental de relatórios técnicos, pareceres, ofícios e registros de intervenções anteriores, com destaque para documentos do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), produzidos em 2009, 2022 e 2024, além do projeto de restauração elaborado pelo Instituto Goia (2015). Essa etapa buscou levantar manifestações já registradas, intervenções executadas e recomendações técnicas voltadas à conservação da edificação.

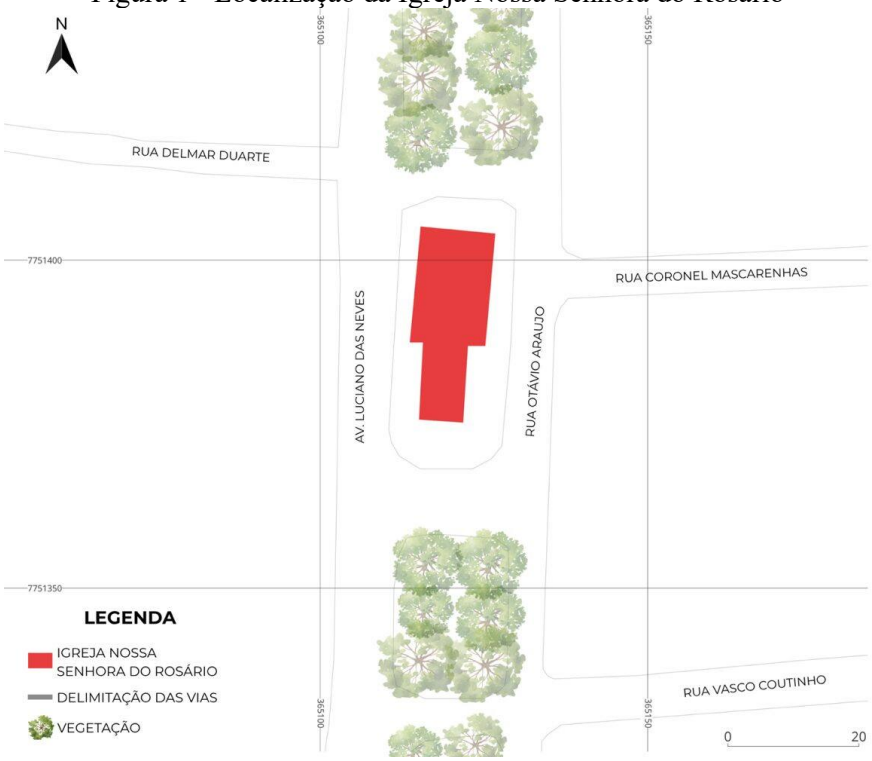
A segunda etapa correspondeu à inspeção visual in loco, realizada em outubro de 2025, com registro fotográfico das fachadas e dos ambientes internos acessíveis. A observação concentrou-se em sinais visíveis de degradação, como manchas de umidade, eflorescências, desagregação do reboco, sujidade, vegetação, mofo, fissuras e escorrimento pluvial. Na terceira etapa, as ocorrências identificadas foram organizadas em mapas de danos e em um quadro síntese, permitindo comparar os registros históricos com a situação observada em 2025. A análise considerou a distribuição das manifestações na edificação, sua recorrência e sua possível associação com fatores ambientais e construtivos.

Ressalta-se que o estudo se baseou predominantemente em inspeção visual e análise documental, sem a realização de ensaios laboratoriais ou medições instrumentais. Assim, as interpretações sobre causas e mecanismos de degradação devem ser compreendidas como hipóteses técnicas compatíveis com as evidências observadas.

3. HISTÓRICO DE INTERVENÇÕES E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS RECORRENTES

A Igreja Nossa Senhora do Rosário, está localizada no bairro da Prainha, no município de Vila Velha, estado do Espírito Santo (Figura 1).

Figura 1 - Localização da Igreja Nossa Senhora do Rosário



Fonte: Pergentino (2025).

A Igreja foi inicialmente erguida como uma pequena capela em 1535 por Vasco Fernandes Coutinho, sendo ampliada a partir de 1551 com o apoio dos jesuítas, adquirindo as dimensões atuais. Ao longo dos séculos, passou por diversas intervenções e reformas, incluindo reparos estruturais no século XVIII, melhorias no século XIX, quando recebeu doação de Dom Pedro II, e modificações significativas no século XX, como a substituição do piso original. Tombada em 20

de março de 1950 pelo IPHAN, consolidou-se como um importante marco histórico, religioso e urbano de Vila Velha (IPHAN, 2025).

A base estrutural da edificação é formada por alvenaria de pedra e cal, sistema construtivo comum em construções antigas de áreas litorâneas, que contribui para a estabilidade do conjunto e favorece um ambiente interno mais equilibrado. Nesse tipo de construção, a presença da cal permite maior permeabilidade das paredes, facilitando a troca de vapor entre o interior e o exterior (IPHAN, 2009a). Entretanto, ao longo de reformas, foram introduzidos materiais mais modernos e, conforme destacado por Goia (2015), o uso de argamassas e pinturas à base de cimento, pode comprometer o desempenho das edificações, sendo que a umidade tende a ficar retida nas paredes e, como consequência, as manifestações patológicas se intensificam. Mesmo após intervenções de restauro, a edificação continua apresentando ocorrências recorrentes, o que demonstra sua vulnerabilidade às condições ambientais litorâneas e também aos efeitos acumulados de intervenções anteriores.

Mesmo com a realização dessas ações, observa-se que as manifestações associadas à umidade continuam sendo recorrentes, principalmente nas bases das paredes e em áreas com ventilação limitada, reforçando que parte das causas patológicas permanece atuante no edifício. Entre as manifestações patológicas registradas em documentos técnicos destacam-se: umidade ascendente e eflorescências, fissuras e trincas estruturais, degradação do reboco e desprendimento de camadas de pintura, ataques biológicos e infestação por xilófagos (como cupins e fungos), além de infiltrações relacionadas à cobertura e deterioração do telhado. Essas manifestações foram identificadas pelo IPHAN, descritas, relacionando-se suas causas prováveis e os impactos gerados na edificação, bem como as ações realizadas ao longo do tempo para controle e recuperação de cada ocorrência **(**IPHAN, 2022; IPHAN, 2024a; IPHAN, 2024b).

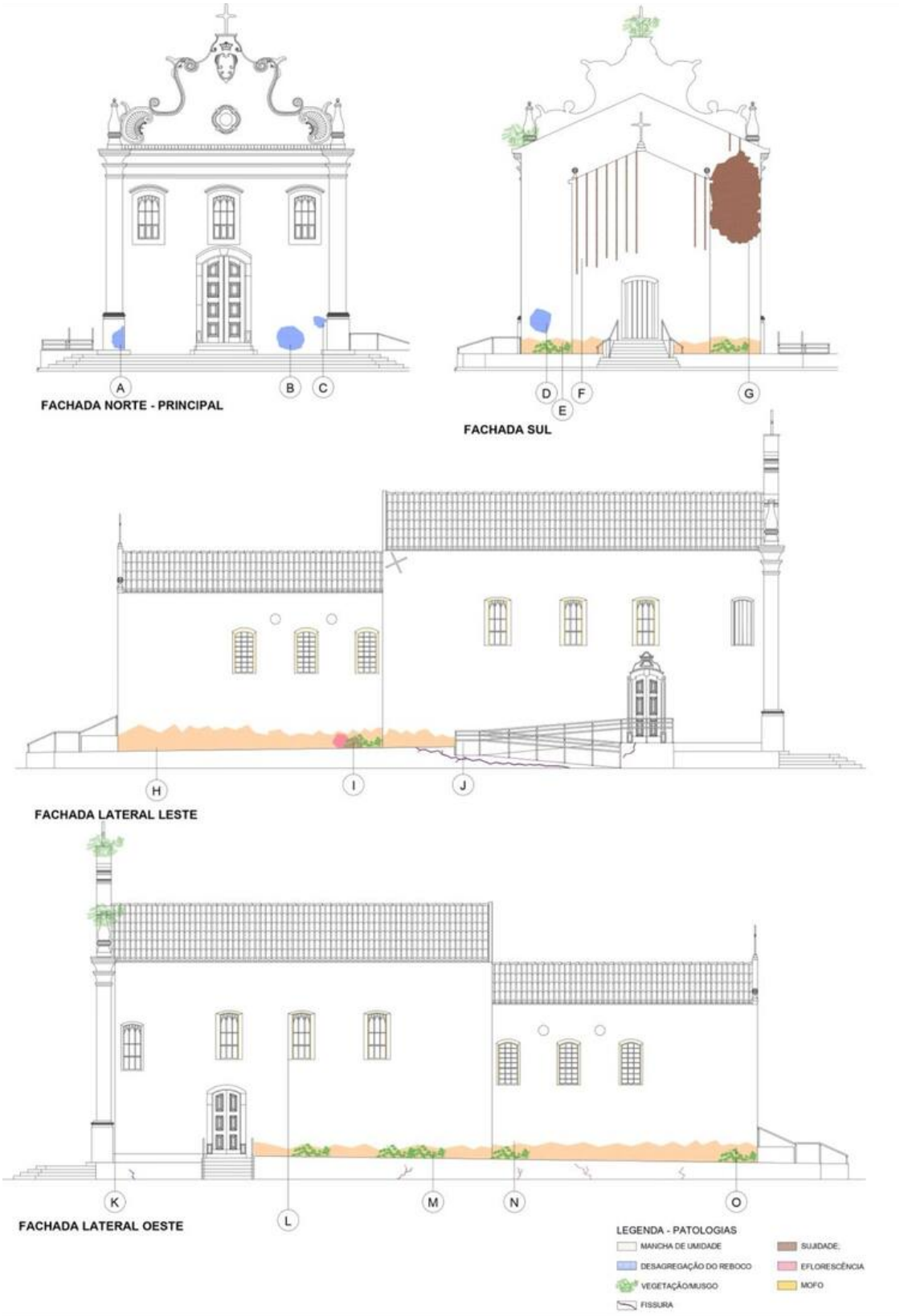
Nos últimos anos, documentos técnicos do IPHAN do Instituto Goia de Projetos e Arquitetura (2015), destacam orientações voltadas à conservação preventiva e à necessidade de monitoramento contínuo da edificação. De modo geral, esses registros indicam que as manifestações associadas à umidade e à presença de sais permanecem como núcleo recorrente de degradação, especialmente em razão do ambiente marinho, da alta umidade relativa do ar e da condição de lençol freático raso, fatores que favorecem a migração de água e sais pelas alvenarias tradicionais **(**IPHAN, 2022; IPHAN, 2024a; IPHAN, 2024b).

4. ANÁLISE DO OBJETO

4.1 Mapeamento das manifestações patológicas das fachadas

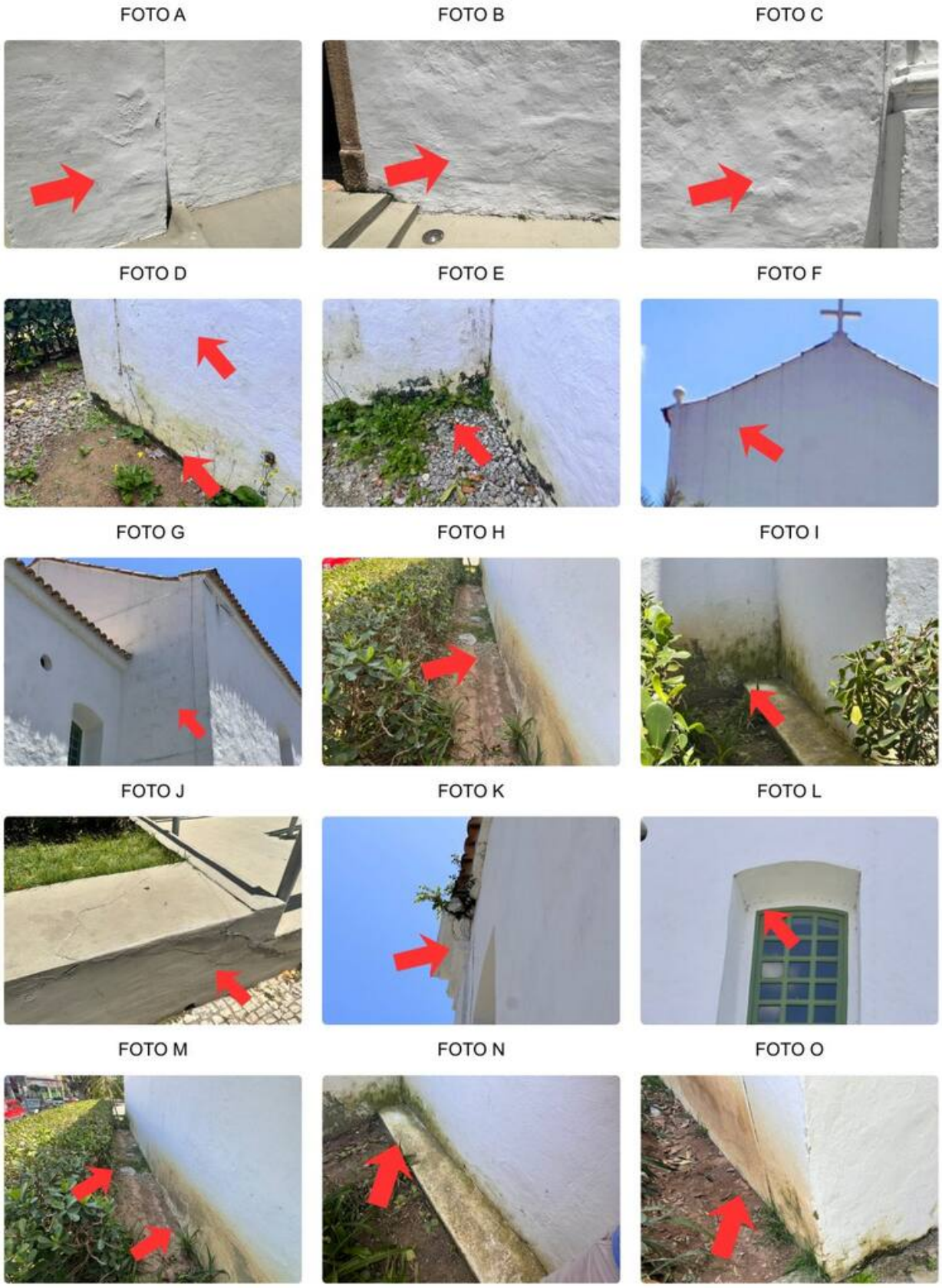
O mapeamento das manifestações patológicas das fachadas (Figura 2) foi realizado com objetivo de registrar, por meio de documentação fotográfica (Figura 3), e localizar os danos visíveis nas superfícies externas da edificação. Com base na vistoria in loco e na análise dos registros obtidos, as manifestações foram organizadas de forma comparativa, o que permitiu identificar padrões de ocorrência por fachada e por faixa de altura, com maior concentração na região inferior das paredes.

Figura 2 - Mapeamento das Manifestações Patológicas das Fachadas



Fonte: Adaptado de Pergentino (2025).

Figura 3 – Registros Fotográficos das Manifestações patológicas Identificadas na Fachada



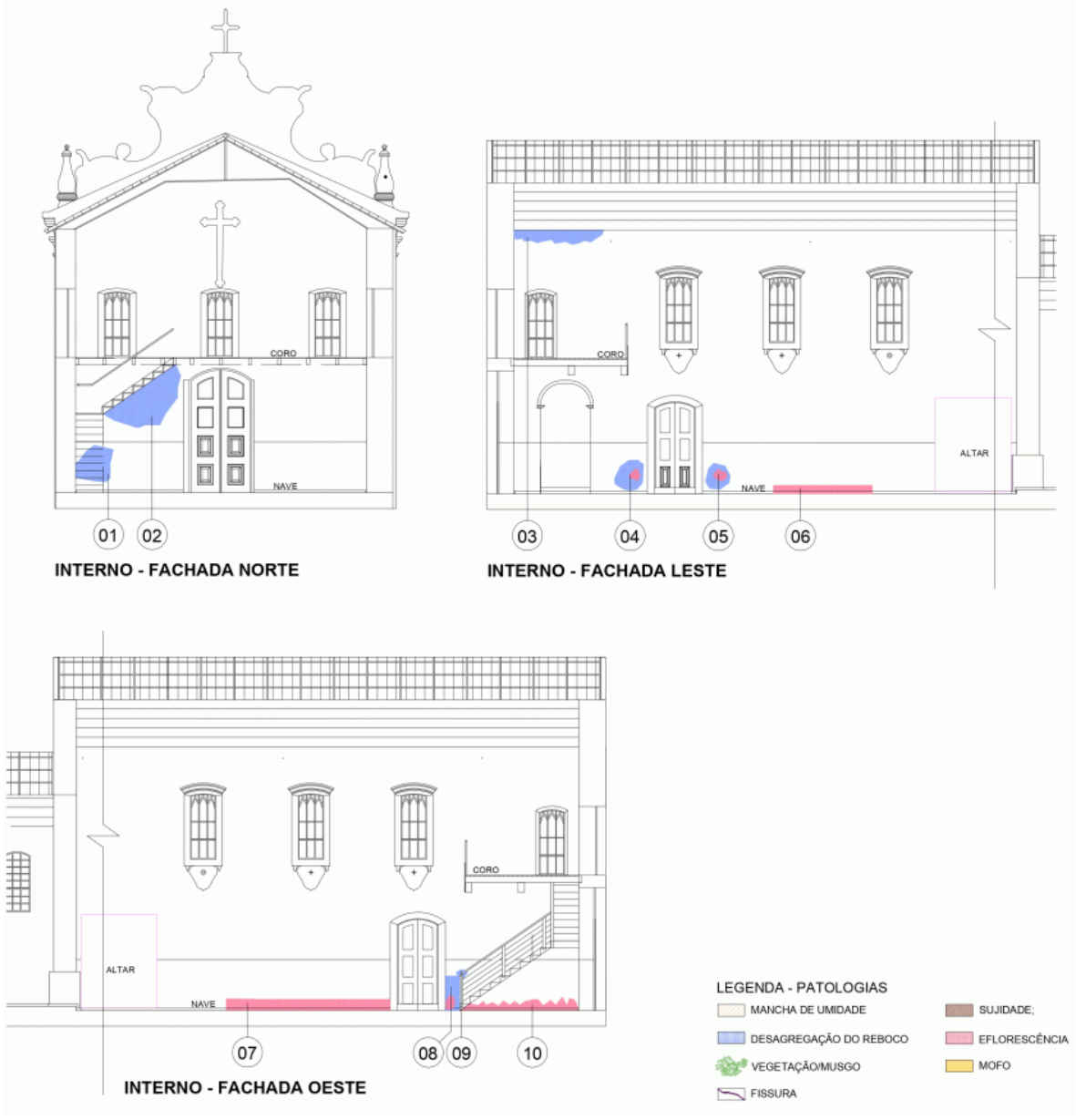
Fonte: Adaptado de Pergentino (2025).

4.2 Mapeamento das manifestações patológicas internas

O mapeamento das manifestações patológicas internas (Figura 4) foi realizado de modo a documentar por meio de fotografias (Figura 5) e localizar manifestações observadas nos espaços internos, complementando, assim, o diagnóstico das fachadas e permitindo a análise integrada do comportamento das manifestações patológicas no edifício.

Nos ambientes internos, a ventilação limitada e o microclima mais úmido podem favorecer processos de condensação e crescimento biológico, exigindo atenção especial na identificação de manchas, mofo e degradação de acabamentos (IPHAN, 2024a).

Figura 4 - Mapeamento das Manifestações patológicas em Ambientes Internos



Fonte: Adaptado de Pergentino (2025).

Figura 5 – Registros fotográficos das Manifestações Patológicas Observadas no Interior da Edificação

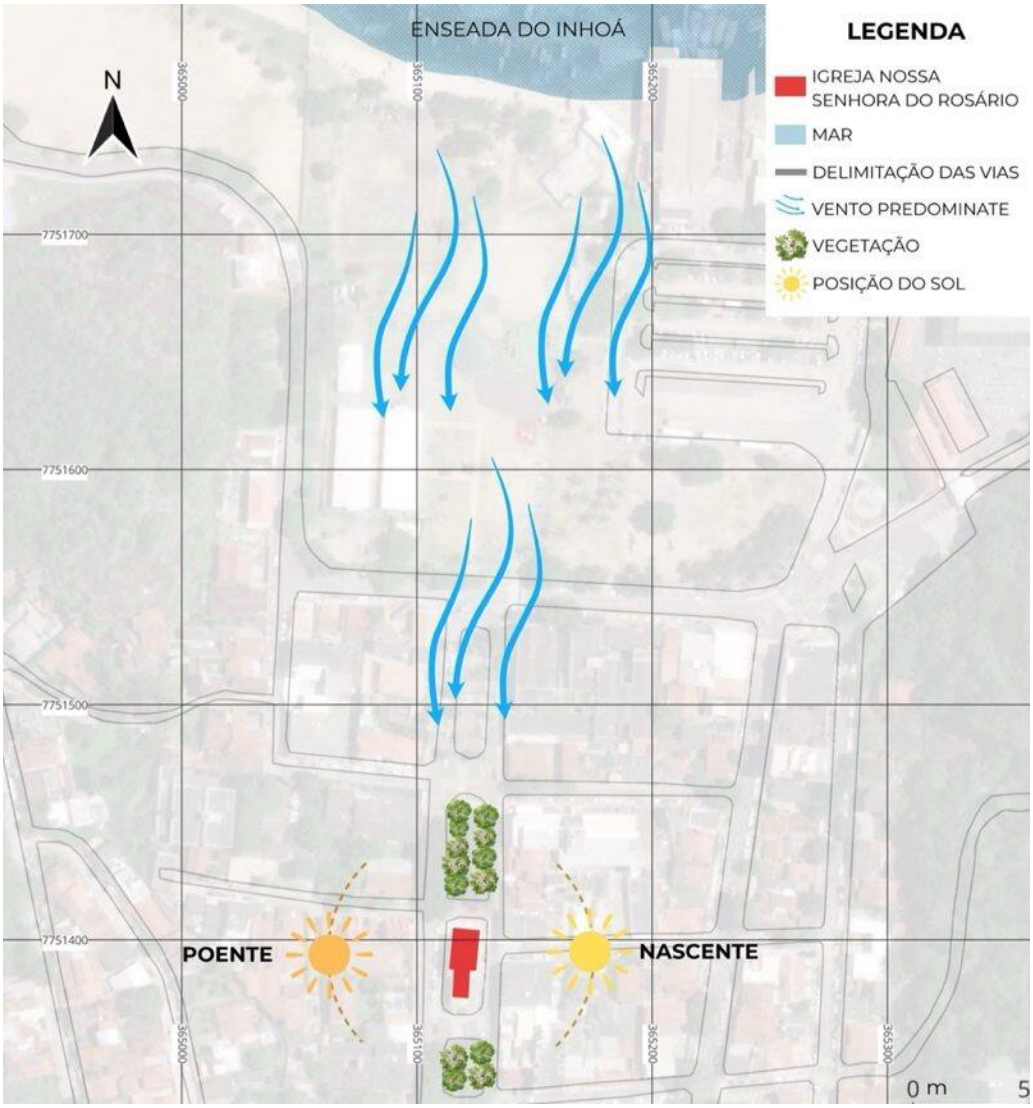


Fonte: Adaptado de Pergentino (2025).

4.3 Relação das fachadas com o entorno

A Igreja Nossa Senhora do Rosário está implantada em área próxima ao mar (Figura 6), onde há alta umidade, ventos com maresia e ocorrência de chuvas intensas. Essas condições geralmente favorecem o desgaste dos revestimentos e contribuem para o aparecimento de danos nas fachadas. Documentos técnicos indicam que a salinidade levada pelo vento atua como um importante agente de degradação, enquanto a presença de lençol freático raso na região pode favorecer a umidade ascendente, principalmente nas partes inferiores das paredes (IPHAN, 2009a; IPHAN, 2022; IPHAN, 2024a). Além disso, a exposição das fachadas à direção predominante dos ventos foi analisada com apoio em mapa de ventos e representação esquemática elaborada para este estudo (Windy, 2025; Pergentino, 2025).

Figura 6 - Mapa de Análise do Entorno



Fonte: Pergentino (2025).

Diante dessas condições, entende-se que a degradação observada na igreja não está ligada apenas a falhas pontuais dos materiais, mas também à ação conjunta do ambiente litorâneo, das características construtivas originais e do histórico de intervenções. Nesse contexto, a presença constante de umidade nas alvenarias favorece a migração de sais e o aparecimento de eflorescências, manchas e crescimento biológico, especialmente em áreas mais expostas ou com menor capacidade de secagem (Pergentino, 2025).

As fachadas e aberturas da igreja apresentam características compatíveis com a época de construção, como paredes espessas, poucas aberturas e reduzidos elementos de sombreamento. Essas condições influenciam o comportamento higrotérmico da edificação e podem dificultar a evaporação da umidade retida nos elementos construtivos. Observou-se também que a fachada voltada para oeste recebe forte insolação no período da tarde. Essa condição pode intensificar as variações térmicas superficiais e favorecer o surgimento de pequenas fissuras e desprendimentos no reboco, principalmente quando associada à umidade já presente no sistema construtivo (Pergentino, 2025; IPHAN, 2024b). Soma-se a isso a influência do lençol freático elevado na área onde a igreja está implantada, o que reforça a importância do monitoramento do terreno e da adoção de medidas preventivas voltadas ao controle da umidade (IPHAN, 2024b).

Já a fachada sul, situada em área com menor ventilação e menor insolação direta, apresentou maior concentração de umidade aparente e crescimento vegetal quando comparada à fachada principal, cujo entorno imediato possui piso concretado. A ausência de drenagem adequada e o escoamento direto da água pluvial sobre as paredes parecem contribuir para a permanência da umidade no revestimento, favorecendo o desenvolvimento de musgos e pequenas plantas.

De modo geral, as fachadas oeste e leste apresentam comportamentos distintos em função da orientação solar. A fachada oeste, mais exposta a luz solar da tarde, tende a concentrar manifestações mais severas, pois os ciclos de aquecimento e resfriamento podem aumentar as tensões no reboco e favorecer desprendimentos. Ao mesmo tempo, a ação combinada da umidade e da salinidade mantém o sistema construtivo em condição de maior vulnerabilidade.

4.4 Síntese das manifestações patológicas observadas

A comparação entre os registros anteriores e as observações realizadas em 2025 indica que, embora tenham ocorrido intervenções ao longo dos anos, determinadas ocorrências permanecem recorrentes, especialmente eflorescência, desagregação do reboco e manchas de umidade, com maior concentração na base das paredes e em áreas de menor ventilação. (IPHAN, 2014–2022). Por outro lado, observam-se alterações em algumas ocorrências, como o controle de fissuras em trechos de alvenaria após intervenções anteriores.

Quadro 1 - Comparativo entre manifestações patológicas recorrentes e identificadas em 2025

COMPARATIVO ENTRE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS RECORRENTES E MANIFESTAÇÕES OBSERVADAS EM 2025			
TIPO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	**RELATÓRIOS ANTERIORES (IPHAN 2014–2022)**	**SITUAÇÃO OBSERVADA EM 2025 (AUTOR)**	**EVOLUÇÃO / OBSERVAÇÕES**
Desagregação do reboco	Presente nas fachadas principal e posterior, associada à ação da umidade e ao envelhecimento dos materiais.	Permanece nas mesmas fachadas, com maior intensidade na base das paredes e sob a escada do coro.	Manifestação recorrente, cuja permanência sugere a continuidade da ação da umidade e a insuficiência de medidas permanentes de controle.
Eflorescência	Identificada em pontos isolados das fachadas laterais e em ambientes internos.	Apresenta maior incidência na fachada oeste e no interior da nave.	Ocorrência compatível com a influência da umidade e da presença de sais no sistema construtivo, em contexto de ambiente litorâneo.
Manchas de umidade	Relatadas na base das paredes externas e internas, especialmente após períodos chuvosos.	Mantêm-se evidentes nas fachadas posterior e principal, com presença contínua na base das paredes.	A persistência dessas ocorrências sugere a continuidade de fontes de umidade, possivelmente relacionadas à ascensão capilar e ao manejo insuficiente das águas.
Vegetação	Registrada na fachada posterior e telhado.	Continua presente na fachada posterior e no telhado, além de pontos na base da fachada oeste.	Reincidência associada à presença contínua de umidade e à necessidade de manutenção periódica.

Sujidade e escorrimento de água pluvial	Observada sob o caimento do telhado.	Mantêm-se na fachada posterior, especialmente sob pontos de lançamento de água pluvial.	Indica necessidade de revisão do sistema de drenagem pluvial, bem como de rotinas de limpeza e manutenção.
Infestação biológica (mofo e fungos)	Casos pontuais, com baixo registro.	Maior incidência, sobretudo em janelas laterais e em áreas internas de ventilação limitada.	Manifestação associada a ambientes mais úmidos e com pouca renovação de ar.
Fissuras	Observadas na rampa lateral e em pontos de transição de alvenaria.	Observadas na rampa lateral, sem identificação expressiva de fissuras na alvenaria principal.	O quadro atual sugere estabilização ou redução dessas ocorrências nos trechos anteriormente mais críticos.

Fonte: Adaptado de Pergentino (2025).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou as principais manifestações patológicas observadas na Igreja Nossa Senhora do Rosário a partir de inspeção visual, registros fotográficos, pesquisa documental e elaboração de mapas de danos das fachadas e dos ambientes internos acessíveis. A análise permitiu identificar que os problemas mais frequentes estão relacionados à umidade, com destaque para manchas, eflorescência, desagregação do reboco, crescimento biológico e presença de vegetação, principalmente nas bases das paredes e em áreas com menor ventilação ou sujeitas ao escoamento de águas pluviais.

Os resultados indicam que a conservação da edificação não depende de um único fator, mas da combinação entre condições ambientais e características construtivas. Entre os aspectos que mais influenciam esse quadro estão a proximidade com o mar, a alta umidade do entorno, a possível influência do lençol freático raso, a exposição solar de cada fachada e a realização de intervenções anteriores nem sempre compatíveis com o sistema construtivo tradicional. A comparação com documentos técnicos mais antigos também sugere que algumas manifestações continuam reaparecendo ao longo do tempo, mesmo que outras tenham diminuído após intervenções específicas.

Como a análise realizada se baseou principalmente em inspeção visual, as relações de causa e efeito discutidas neste estudo devem ser entendidas como interpretações técnicas construídas a partir do que foi observado em campo e da literatura consultada. Ainda assim, os resultados reforçam a importância da conservação preventiva para reduzir o avanço dos danos, especialmente por meio de monitoramento sistemático, manutenção periódica, controle da umidade, manejo adequado das águas pluviais e uso de materiais compatíveis com as características construtivas da edificação histórica.

Além da importância construtiva e histórica da edificação, também é fundamental destacar o valor que a Igreja Nossa Senhora do Rosário representa para a memória e para a identidade cultural de Vila Velha e do Espírito Santo. Preservar essa igreja é também manter viva parte da história, da cultura e da religiosidade local, permitindo que esse patrimônio continue sendo reconhecido e valorizado pelas gerações atuais e futuras.

REFERÊNCIAS

GOIA, Instituto. **Projeto de restauração da Igreja Nossa Senhora do Rosário** - Vila Velha/ES: relatório técnico, memorial descritivo e caderno de encargos. Vitória: Instituto de Obras Públicas do Espírito Santo – IOPES; Instituto Goia, 2015.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Igreja de Nossa Senhora do Rosário** - Vila Velha (ES). Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1359/. Acesso em: 25 abr. 2025.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Processo de tombamento da Igreja Nossa Senhora do Rosário de Vila Velha/ES**. Livro de Tombo Histórico, inscrição n. 268, fl. 46, 1950.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Relatórios técnicos e ofícios referentes à Igreja Nossa Senhora do Rosário**. Vitória: 21ª Superintendência Regional do IPHAN/ES, 2009a.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Relatório técnico n. 001/2009 - Vistoria e avaliação da Igreja Nossa Senhora do Rosário**. Vitória: IPHAN, 2009b.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Parecer técnico n. 51/2022**/DIVTEC IPHAN-ES/IPHAN-ES. Vila Velha: IPHAN, 2022.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Parecer técnico n. 36/2024**/DIVTEC IPHAN-ES/IPHAN-ES. Vitória: IPHAN, 2024a.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Ofício n. 2075/2024/DITEC IPHAN-ES/IPHAN-ES**. Vitória: IPHAN, 2024b.

LIMA, G. **Um pouco de história** - Igreja do Rosário. 28 jan. 2021. Disponível em: https://paroquiadorosario.com/um-pouco-de-historia-igreja-do-rosario/. Acesso em: 2 jun. 2025.

PERGENTINO, Otávia. **Patologias em edificações históricas: estudo de caso na Igreja Nossa Senhora do Rosário em Vila Velha - ES.** Trabalho de conclusão de Curso (Engenharia Civil). Brasil. Vila Velha, Universidade Vila Velha, 2025.

TÉSIO, P. R. **A evolução da Engenharia Civil no Brasil, nos últimos 100 anos, na construção e restauração de construções históricas.** Trabalho de conclusão de Curso (Engenharia Civil). Brasil. São Paulo, Universidade Anhembi Morumbi, 2018.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das edificações.** 3. ed. Porto Alegre: Sagra, 2017

WINDY. **Mapa de ventos predominantes** - Região de Vila Velha, ES. 2025. Disponível em: https://www.windy.com/. Acesso em: 28 out. 2025.

CAPÍTULO 66 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/7e8g4m97
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/k1m24s06

QUANTIFICAÇÃO DE DESPLACAMENTO CERÂMICO EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Alcineide Dutra Pessoa de Sousa[1]*, Gean Carlos Lopes de Sousa[2]; Luiz Maurício Furtado Maués[3]
*Autor de contato: alcineide.sousa@uemasul.edu.br

[1] Engenharia Civil, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, Açailândia-MA, Brasil
[2] Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Imperatriz-MA, Brasil
[3] Departamento de Engenharia Civil , Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, Brasil

RESUMO

Os edifícios frequentemente apresentam elementos que representam desafios significativos para inspeção e manutenção, como a fachada. O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) tem contribuído para esse tipo de inspeção, no entanto, ainda há espaço para melhorias. O objetivo deste artigo é apresentar um algoritmo computacional capaz de quantificar a falta de revestimentos cerâmicos em fachadas de edifícios utilizando imagens capturadas por VANTs e técnicas de processamento digital de imagens (PDI) . A metodologia utilizada foi composta por quatro fases: a construção de um conjunto de dados, o pré-processamento das imagens, a aplicação do algoritmo YOLO v4 para a identificação das áreas com revestimento cerâmico e a elaboração de um algoritmo para a contagem do número de revestimentos cerâmicos faltantes nas imagens da fachada. Os resultados da quantificação demonstraram que o erro médio total do algoritmo varia entre 0,3 e 1,5 placas cerâmicas quando aplicado a um grupo de 53 novas imagens e que o tempo de identificação e quantificação das placas cerâmicas faltantes reduzem drasticamente quando o algoritmo proposto é utilizado.
Palavras-chave: Algoritmo; Quantificação; Desplacamento de cerâmica.

ABSTRACT

Buildings often present elements that pose significant challenges for inspection and maintenance, such as the facade. The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) has contributed to this type of inspection; however, there is still room for improvement. The objective of this article is to present a computational algorithm capable of quantifying the lack of ceramic cladding on building facades using images captured by UAVs and digital image processing (DIP) techniques. The methodology used consisted of four phases: the construction of a dataset, the pre-processing of the images, the application of the YOLO v4 algorithm for the identification of areas with ceramic cladding, and the development of an algorithm for counting the number of missing ceramic claddings in the facade images. The quantification results revealed that the average total error of the algorithm varies between 0.3 and 1.5 ceramic tiles when applied to a group of 53 new images, and that the time for identifying and quantifying the correct missing tiles is reduced when the proposed algorithm is used.
Keywords: Algorithm; Quantification; Ceramic displacement.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção da sustentabilidade, integridade estrutural e garantia de segurança em um edifício depende da realização de inspeções regulares (ZHANG et al., 2022). Alguns locais apresentam dificuldades de inspeção, como, por exemplo, fachadas de edifícios (HALDER e AFSARI, 2023). Para superar isso, imagens de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) têm sido utilizadas em tarefas de inspeção em altura, especialmente em fachadas (RUIZ et al., 2020).

O processo de inspeção de fachadas utilizando imagens de VANT é mais rápido e economicamente mais viável do que o tradicional (BALESTEROS e LORDSLEEM, 2020). Mesmo quando comparado a técnicas tecnológicas mais recentes, como, por exemplo, modelos tridimensionais e ortomosaicos gerados por fotogrametria digital, a viabilidade técnica e a eficácia das inspeções utilizando imagens de VANT provaram ser mais eficientes para a detecção de manifestações patológicas (RUIZ et al., 2022).

A identificação de manifestações patológicas utilizando imagens capturadas por VANT é, essencialmente, composta por duas fases, começando com o registro fotográfico da fachada e, posteriormente, a elaboração do relatório apontando as manifestações patológicas presentes no edifício (SLOSAKI, 2021). No entanto, apesar da captura de imagens usando VANT, quando realizada por um profissional, ser relativamente rápida, entre uma e três horas, as fases de identificação, quantificação e planilha podem, juntas, levar até oito vezes mais tempo do que o tempo de captura da imagem (MIRALDES, 2020). Os protocolos de condução do registro fotográfico usando VANTs são eficientes; no entanto, o tratamento dos dados e a elaboração do relatório das manifestações patológicas ainda são exaustivos e exigem profissionais especializados (SLOSAKI, 2021).

Para agilizar o processo de identificação de várias manifestações patológicas, diversas técnicas computacionais têm sido empregadas (LAGAROS e PLEVRIS, 2022). A identificação de fissuras usando Redes Neurais Convolucionais (CNNs) é uma aplicação comum encontrada na literatura. Por exemplo, o uso de segmentação semântica híbrida para identificar fissuras no revestimento de túneis (ZHOU et al., 2023) ou o uso de um modelo de CNN para identificar fissuras e determinar sua orientação (QAYYUM, 2023).

Além de fissuras, problemas estruturais também têm sido o foco de aplicações de CNN (ZHU et al., 2023; XIANG et al., 2022). Por exemplo, o emprego de CNNs para a identificação e localização de defeitos em pontes de concreto (ZOUBIR et al., 2022). Outra aplicação da CNN é a identificação de equipamentos de segurança na indústria da construção (ZHANG et al., 2020; LI et al., 2020).

Nesse sentido, estudos como os de Sousa (2022) e Zhang et al., (2023) propõem a identificação automatizada do revestimento cerâmico em imagens capturadas por drones. No entanto, percebe-se que a automatização das tarefas de quantificação e planilhamento dos dados ainda é necessária. É, portanto, nesse contexto que este estudo se insere, pois o objetivo deste artigo é ir além da captura das imagens e da identificação das manifestações patológicas, ou seja, propõe-se aqui um mecanismo computacional, adotando técnicas de processamento digital de imagens (PDI), que após identificar a falha no revestimento, é capaz de quantificar o número de peças cerâmicas faltantes em cada imagem e construir automaticamente um relatório com essas quantidades.

2. MATERIAIS E MÉTODO

O desenvolvimento desta pesquisa obedeceu a quatro fases: a construção de um conjunto de dados, o pré-processamento das imagens, a aplicação do algoritmo YOLO v4 para a identificação das áreas com revestimento cerâmico e a contagem das peças cerâmicas faltantes. Essa última fase

consiste na contribuição metodológica desse trabalho A descrição detalhada de cada fase do método aplicado nesta pesquisa está apresentada nas próximas subseções.

2.1 Construção do conjunto de dados

O objetivo da construção de um conjunto de dados de imagens é realizar o treinamento e teste de uma rede neural convolucional YOLO v4 para a identificação de revestimentos cerâmicos. O banco de imagens utilizado para o treinamento do artefato foi construído da seguinte forma:
a. Imagens de fachadas de edifícios históricos, comerciais e públicos no centro comercial das cidades de Belém, São Luís e Imperatriz foram capturadas por meio de telefone celular;
b. As fachadas de 4 edifícios da cidade de Belém foram filmadas utilizando um drone. Os vídeos obtidos foram processados de forma que os quadros principais fossem removidos para compor o banco de imagens;
c. A formação do grupo de imagens foi concluída após uma avaliação de cada foto para remover aquelas de baixa qualidade.

Ao final da tarefa de coleta de imagens, obteve-se um grupo de dados composto por um total de 670 imagens. Esse número de imagens é relativamente pequeno para o treinamento de um modelo de visão computacional. Para resolver esse tipo de problema, é comum realizar aumento de dados (CHUDASAMA et al., 2024; POZZER et al., 2021). Portanto, foi aplicada a ampliação de dados para evitar o sobreajuste e aumentar o número de imagens por reflexão aleatória (esquerda e direita) e translação aleatória de pixels nos eixos X e Y.
Além dessas, outras 53 imagens foram obtidas para testar o algoritmo de quantificação.

2.2 Pré-processamento das imagens

Antes da aplicação do algoritmo de identificação de objetos YOLO v4, foi necessário rotular as imagens. A rotulagem das imagens de treinamento e teste foi feita manualmente com a ajuda do aplicativo Image LabelImg. O LabelImg é uma ferramenta gratuita escrita em Python, com código aberto, com uma função para rotular imagens graficamente (NELSON, 2023).
Após o processo de rotulagem de todas as imagens, a rede YOLO v4 foi aplicada para identificar as áreas com revestimento cerâmico e medir a taxa de precisão da rede. A aplicação deste algoritmo, bem como os parâmetros utilizados, são descritos no tópico seguinte.

2.3 Identificação das regiões dom desplacamento cerâmico (YOLO v4)

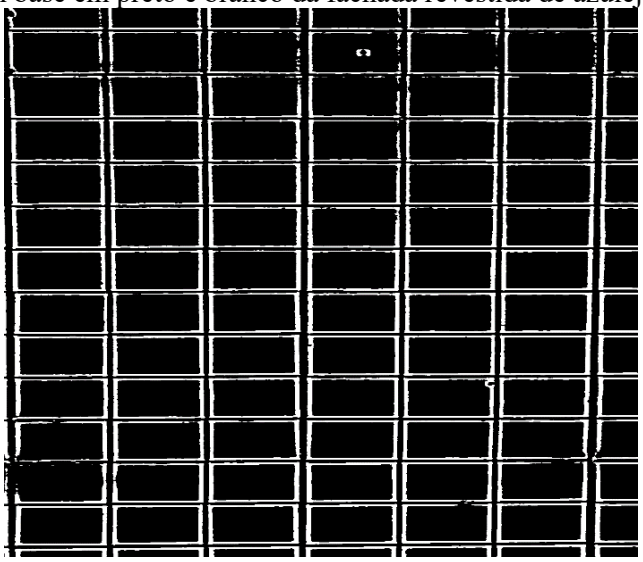
A arquitetura da rede utilizada neste estudo é composta por 150 camadas, sendo 1 camada de entrada, 13 de Adição, 45 de Normalização em Lote, 46 de Convolução, 1 de Max Pooling, 42 de ReLU, 1 de Transformação YOLO v4 e 1 de saída. O algoritmo de otimização utilizado foi o gradiente descendente estocástico com otimizador de momentum. O tamanho do mini-lote foi definido como 10 e a taxa de aprendizado inicial estabelecida como 0,01. A aplicação deste algoritmo consiste em realizar, primeiramente, um treinamento e, posteriormente, um teste.

2.4 Quantificação do revestimento cerâmico desplacando (Algoritmo proposto)

Como o principal objetivo deste artigo é apresentar um algoritmo capaz de realizar a quantificação das cerâmicas faltantes nas imagens capturadas e exportar uma planilha com os valores obtidos, o processo de quantificação começa com o cálculo da proporção de pixels por placa. Para determinar

essa proporção, uma imagem base RGB original (imagem sem o desplacamento cerâmico) é primeiro transformada em preto e branco (Figura 1).

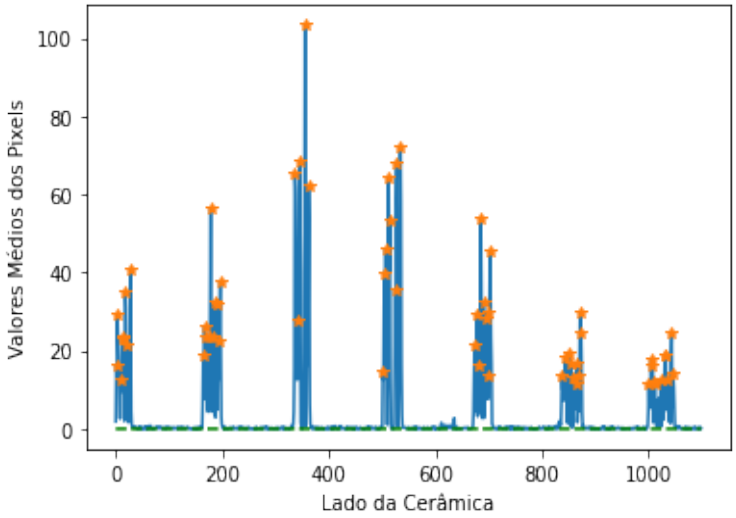
Figura 1 - Imagem base em preto e branco da fachada revestida de azulejos de um edifício.



Fonte: Os autores

Após a transformação mostrada na Figura 1, foi realizado o cálculo da média para cada coluna. Como os pixels de cor preta têm valores iguais a zero e os pixels de cor branca têm valores iguais a 255, o cálculo das médias para cada coluna resulta em uma série numérica com picos nas regiões das linhas brancas, ou seja, nas regiões de rejunte (Figura 2).

Figura 2- Média de pixels da imagem base



Fonte: Os autores

Após o cálculo da média, os picos são identificados e a média das maiores distâncias entre os picos, conforme mostrado na Figura 2, é determinada. Consequentemente, o número de pixels por lado de uma peça é determinado e, ao ser elevado ao quadrado, resulta na área da peça, que constitui a base do algoritmo desta pesquisa.

No Quadro 1, encontra-se uma descrição da metodologia computacional proposta para o algoritmo desenvolvido. O termo “imagem base”, utilizado no algoritmo, refere-se a uma imagem capturada de uma área sem revestimento cerâmico.

Quadro 1. Algoritmo desenvolvido para quantificar a falta de azulejos cerâmicos na fachada

Algoritmo Proposto

Entrada: Pasta contendo as imagens capturadas com UAV (VANT), incluindo a imagem base.

Etapa 1: Determinar o tamanho, em quantidade de pixels, de um lado da cerâmica e consequentemente sua área.

1. Transformar a imagem base de RGB para preto e branco como, por exemplo, na Figura 1 e armazená-la em uma matriz M.
2. Calcular a média de cada coluna da matriz **M** e armazenar os valores em um vetor **x**.
3. Identificar os picos do vetor **x**, como ilustrado na Figura 2.
4. Calcular a variação $V(i) = x(i) - x(i-1)$ com i sendo as posições dos picos encontrados, ou seja, **V** será um vetor de picos.
5. Armazenar as distâncias dos picos de **V** em um vetor $\mathbf{d}_v$.
6. Calcular a média dos valores de $\mathbf{d}_v$ maiores que 50 e armazenar em $\bar{d}$. É possível observar que essas distâncias armazenadas em $\bar{d}$ são uma aproximação para o tamanho do lado de uma cerâmica (Ver Figura 2).
7.

Etapa 2: Cálculo do número de cerâmicas ausentes

Para cada imagem do banco de dados, executar as etapas 7 a 11 (excluindo a imagem base):

8. Aplicar o Algoritmo YOLO, previamente treinado, para identificar as regiões com revestimento cerâmico.
9. Recortar as regiões identificadas pelo algoritmo YOLO. Recorte feito automaticamente considerando as caixas delimitadoras.
10. Aplicar o algoritmo **k-means** com **k = 2**. Esse algoritmo faz o agrupamento dos pixels em dois grupos, pixel de área com cerâmica e pixel de área sem cerâmica.
11. Contar o número n de pixels do grupo referente à classe sem revestimento cerâmico.
12. Calcular o número de placas cerâmicas ausentes por meio da expressão:

$$N = \frac{n}{\bar{d}^2}$$

Observa-se que N é calculado dividindo-se o número total de pixels da área sem cerâmica n, pela área, também em pixel, de uma cerâmica, ou seja, N é, portanto, o número, aproximado, de cerâmicas.

13. Salvar o valor de **N** em um relatório.

Saída: Relatório contendo a quantidade de revestimentos cerâmicos ausentes em cada imagem.

Fonte: Os autores

O algoritmo foi implantado na plataforma Google Colab. A escolha dessa plataforma se deu por ser um ambiente que permite a programação em Python com acesso a uma unidade de processamento gráfico (GPU) da empresa Google, o que "acelera" o processo de treinamento do algoritmo YOLO v4.

2.5 Métricas de Avaliação

A avaliação da identificação das áreas com desplacamento cerâmico foi realizada utilizando as métricas Precision, Recall e F1-Score,definidas matematicamente a partir das Equações 1 a 3, respectivamente.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (2)$$

$$F_1 = 2x\left(\frac{Precision\ x\ Recall}{Precision + Recall}\right), \quad (3)$$

em que Verdadeiro Positivo (VP) são exemplos corretamente rotulados como positivos; Falso Positivo (FP) refere-se a exemplos negativos corretamente rotulados como positivos; Os verdadeiros negativos (VN) correspondem aos negativos corretamente rotulados como negativos e os falsos negativos (FN) são a quantidade de positivos rotulados incorretamente como negativos.

Para avaliar o algoritmo de quantificação, uma contagem visual feita por um especialista (engenheiro) determinou a quantidade de cerâmicas faltantes em cada imagem. Essa contagem foi realizada para fins de comparação com o que o algoritmo apontasse. Nesse sentido, considerou-se então o erro entre o número real de azulejos cerâmicos faltantes em cada imagem contados visualmente pelo engenheiro e o valor calculado pelo algoritmo proposto, de acordo com a Equação 4.

$$E = N_r - N_c \quad (4)$$

em que N_r é a quantidade de cerâmicas faltantes que foram contadas visualmente pelo engenheiro e N_c o número de cerâmicas faltantes calculadas pelo algoritmo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de identificação de regiões com desplacamento cerâmico na fase de treinamento da rede yolo foram Precision=0.9991, Recall=0.9981 e F_1= 0.9991. Já para a fase de teste obteve-se Precision=0.9933, Recall=0.9868 e F_1= 0.99. Vale destacar aqui que , apesar dos resultados de identificação serem bastante animadores o algoritmo de quantificação se mostrou bastante sensível a erros na fase de identificação. Essa observação será melhor esplanada na sequência de apresentação dos resultados.

A tarefa de quantificação, de acordo com o algoritmo desenvolvido, é realizada logo após a identificação das regiões com revestimento cerâmico. A área das regiões sem revestimento cerâmico calculado nesta fase é exportada e salva na nuvem como um arquivo de texto com extensão .txt.

As simulações computacionais realizadas para avaliar o algoritmo de quantificação levaram em consideração a variação de dois parâmetros importantes do YOLO v4: o Limiar e a Supressão de Não Máximo do Limiar (Thresh-old-NMS). O Limiar determina a confiança mínima para que uma

caixa delimitadora seja escolhida sobre o objeto, e o Limiar-NMS é introduzido no detector com um filtro que escolhe a melhor caixa delimitadora com base, entre outros critérios, na interseção entre elas.

Como mencionado anteriormente, para avaliar a eficiência do algoritmo proposto para a quantificação, foi calculado o valor do erro entre a quantidade obtida com o algoritmo e a quantidade real de cerâmicas faltantes. Para determinar a quantidade real de azulejos cerâmicos faltantes, foi realizada uma contagem, observando foto por foto.

A primeira observação importante a ser destacada neste processo refere-se ao tempo que levou para contar visualmente os azulejos cerâmicos, que foi de 74 minutos, enquanto o algoritmo realizou a mesma tarefa em 5 minutos. Essa diferença de tempo ratifica a importância da automatização desse processo. Na Tabela 1, apresenta-se um resumo dos principais resultados obtidos no processo de quantificação do revestimento cerâmico.

Tabela 1: Resumo da quantificação

Threshold-NMS	***Threshold***	**Total Error**	**Mean Error**
0.30	0.10	80 revestimentos cerâmicos	1.5 revestimentos cerâmicos
	0.15	80 revestimentos cerâmicos	1.5 revestimentos cerâmicos
	0.20	77 revestimentos cerâmicos	1.4 revestimentos cerâmicos
0.20	**0.10**	**19** revestimentos cerâmicos	**0.3** revestimentos cerâmicos
	0.15	23 revestimentos cerâmicos	0.4 revestimentos cerâmicos
	0.20	20 revestimentos cerâmicos	0.3 revestimentos cerâmicos

Fonte: Os autores

Ao realizar uma observação geral, percebeu-se que a combinação dos valores 0,20 e 0,10 para os parâmetros Limiar e Limiar – NMS, respectivamente, foi a que apresentou os melhores resultados de quantificação (erro médio de 0,3 placas cerâmicas).

Durante as simulações uma combinação de parâmetro chamou atenção, a saber, a que utilizou o Limiar -NMS igual 0,30 e o Limiar = 0,10 (de modo análogo para valores de limiares 0,30 e 0,15 respectivamente). Por esse motivo decidiu-se averiguar imagem por imagem. O resultado dessa averiguação pode ser vista na Tabela 2.

Tabela 2: Quantificação para Limiar=0,10 e Limiar – NMS=0,30

Image	***VR***	***VC***	***Error***	***Image***	***VR****	***VC****	***Error***
1	2	2	0	28	29	27	-2
2	8	13	5	29	28	34	6
3	28	27	-1	30	12	15	3
4	39	44	5	31	38	40	2
5	59	59	0	32	64	55	-9
6	75	81	6	33	24	21	-3
7	29	28	-1	34	42	40	-2
8	47	37	-10	35	60	52	-8
9	37	38	1	**36**	**34**	**59**	**25**
10	50	56	6	37	66	76	10

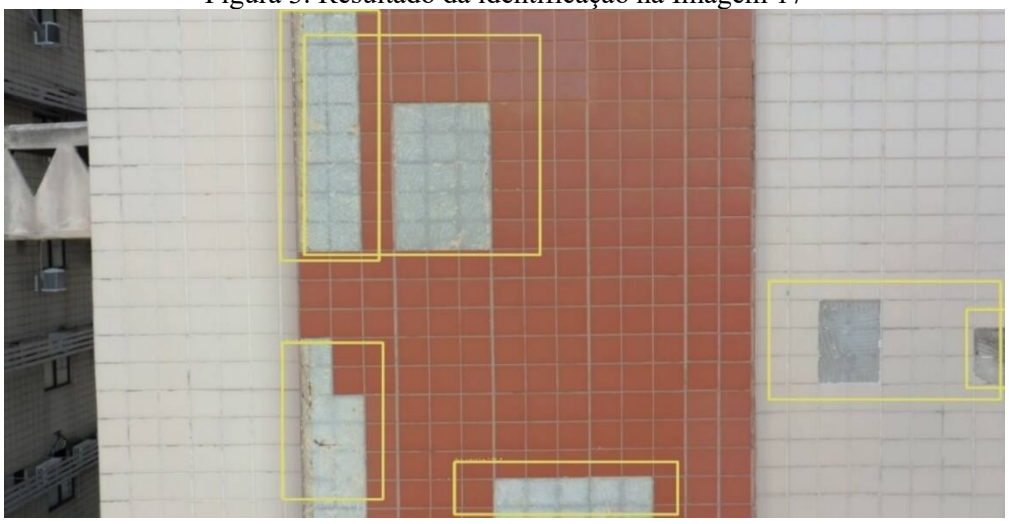
11	31	22	-9	38	57	65	8
12	24	22	-2	39	34	38	4
13	13	14	1	40	12	11	-1
14	65	75	10	41	10	4	-6
15	28	18	-10	42	103	98	-5
16	68	71	3	43	104	97	-7
17	**61**	**88**	**27**	44	98	99	1
18	51	51	0	45	23	19	-4
19	50	51	1	46	62	70	8
20	48	47	-1	47	81	92	11
21	40	32	-8	48	77	82	5
22	29	26	-3	49	50	46	-4
23	39	45	6	50	57	63	6
24	33	38	5	51	42	44	2
25	33	35	2	52	27	28	1
26	4	7	3	53	29	35	6
27	11	8	-3	**TOTAL**	**2265**	**2345**	**80**

Fonte: Os autores

Na Tabela 2, destacam-se dois fatos. O primeiro são os valores dos erros que, excluindo os dois extremos 25 e 27, os erros positivos compensam os negativos de tal forma que, no total, chega-se ao valor de uma peça cerâmica a menos por foto.

A segunda observação a ser feita está relacionada aos valores “críticos” encontrados nas imagens 17 e 36. Para compreender o motivo da obtenção de erros dessa magnitude, observou-se a identificação dos revestimentos, conforme ilustrado nas Figuras 3 e 4.

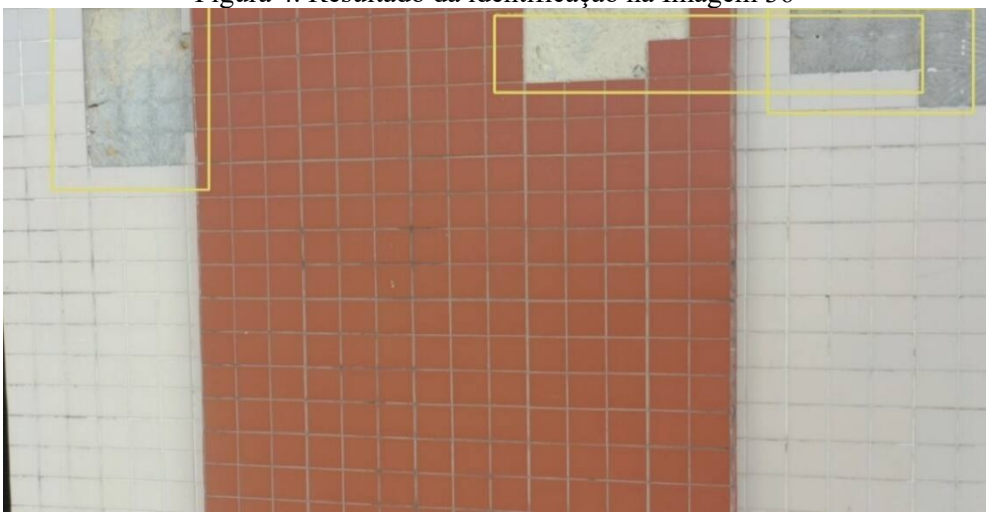
Figura 3. Resultado da identificação na Imagem 17



Fonte: Os autores

Ao observar a Figura 3, percebe-se que em duas regiões há interseções das caixas delimitadoras. Esse fato faz com que a região com revestimento cerâmico seja contada duas vezes, o que explica o elevado valor do erro. A mesma observação mencionada aqui pode ser aplicada à imagem 36 apresentada na Figura 4.

Figura 4. Resultado da identificação na Imagem 36



Fonte: Os autores

Essa análise evidenciou que os resultados indicam erros de grande magnitude, o que evidencia a importância de escolhas adequadas dos parâmetros da rede YOLO, uma vez que essa etapa, embora preliminar, é fundamental para o desempenho do algoritmo de quantificação proposto neste trabalho.

5. CONCLUSÕES

O principal objetivo desta pesquisa foi alcançado, uma vez que foi apresentada uma formulação computacional baseada em uma rede neural convolucional que vai além da identificação da manifestação patológica do revestimento cerâmico, pois o algoritmo proposto é capaz de quantificar o número de cerâmicas faltantes em imagens capturadas por VANT com erro, em média, inferior a uma peça cerâmica por foto.

Além do desenvolvimento do algoritmo, foi construído um banco de dados de imagens utilizando celular e VANT, com o qual foram realizados o treinamento e o teste da rede convolucional YOLO, e dessa forma, com taxas acima de 90%, foi realizada a identificação de áreas/regiões com desplacamento do revestimento cerâmico em fachadas de edifícios.

Ao comparar o tempo gasto pelo engenheiro, que era de aproximadamente 1,5 horas para realizar a identificação, a quantificação e a planilha, com o tempo gasto com o método proposto, que foi de cerca de 5 minutos, percebeu-se que o uso do algoritmo proposto agiliza o trabalho do especialista na identificação da manifestação patológica estudada. Isso demonstra que as redes neurais convolucionais contribuem para a otimização e aprimoramento das interações entre interfaces humanas e de máquinas em canteiros de obras, contribuindo para o desenvolvimento de análises de dados numéricas ou baseadas em imagens, e também podem auxiliar em técnicas automatizadas de inspeção de qualidade em canteiros de obras.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria possível treinar a rede YOLO para identificar várias manifestações patológicas simultaneamente. Além disso, é viável criar algoritmos capazes de calcular automaticamente a área de uma mancha na parede ou determinar a espessura de uma rachadura.

REFERÊNCIAS

BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. **Veículos aéreos não tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, p. 119–137, 2020.

CHUDASAMA, B. *et al.* **Automated mapping of bedrock-fracture traces from UAV-acquired images using U-Net convolutional neural networks**. *Computers & Geosciences*, v. 182, p. 105463, 2024.

HALDER, S.; AFSARI, K. **Robots in inspection and monitoring of buildings and infrastructure: a systematic review**. *Applied Sciences*, v. 13, n. 4, p. 2304, 2023.
LAGAROS, N. D.; PLEVRIS, V. **Artificial intelligence (AI) applied in civil engineering**. *Applied Sciences*, v. 12, n. 15, p. 7595, 2022.

LI, Y. *et al.* **Deep learning-based safety helmet detection in engineering management based on convolutional neural networks**. *Advances in Civil Engineering*, v. 2020, p. 1–10, 2020.

MIRALDES, J. P. N. D. **Inspeção técnica de construções com recurso a drones**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2020.

NELSON, J. **LabelImg for labeling object detection data**. Disponível em: https://blog.roboflow.com/labelimg/. Acesso em: 21 dez. 2023.
POZZER, S. *et al.* **Semantic segmentation of defects in infrared thermographic images of highly damaged concrete structures**. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 35, n. 1, p. 04020131, 2021.

QAYYUM, W. *et al.* **Assessment of convolutional neural network pre-trained models for detection and orientation of cracks**. *Materials*, v. 16, n. 2, p. 826, 2023.
RUIZ, R. D. B. *et al.* **Processamento digital de imagens para detecção automática de fissuras em revestimentos cerâmicos de edifícios**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, p. 139–147, 2020.

RUIZ, R. D. B.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C.; ROCHA, J. H. A.; IRIZARRY, J. **Unmanned aerial vehicles (UAV) as a tool for visual inspection of building facades in AEC+FM industry**. *Construction Innovation*, v. 22, n. 4, p. 1155–1170, 2022.

SLOSASKI, R. L. S. **Quantificação de manifestações patológicas em fachadas utilizando veículo aéreo não tripulado e software de mensuração: comparativo com método tradicional**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

SOUSA, A. D. P. D.; SOUSA, G. C. L. D.; MAUÉS, L. M. F. **Using digital image processing and unmanned aerial vehicle (UAV) for identifying ceramic cladding detachment in building facades**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 22, p. 199–213, 2022.

XIANG, C. *et al.* **Structural damage identification based on convolutional neural networks and improved hunter–prey optimization algorithm**. *Buildings*, v. 12, n. 9, p. 1324, 2022.

ZHANG, C.; ZOU, Y.; DIMYADI, J. **Integrating UAV and BIM for automated visual building inspection: a systematic review and conceptual framework**. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 1101, n. 6, p. 062030, 2022.

ZHANG, C.; ZOU, Y.; DIMYADI, J.; CHANG, R. **Thermal-textured BIM generation for building energy audit with UAV image fusion and histogram-based enhancement**. *Energy & Buildings*, v. 301, p. 113710, 2023.

ZHANG, J. *et al.* **A deep learning-based approach to enable action recognition for construction equipment**. *Advances in Civil Engineering*, v. 2020, p. 1–14, 2020.

ZHOU, Z.; ZHANG, J.; GONG, C. **Hybrid semantic segmentation for tunnel lining cracks based on Swin Transformer and convolutional neural network**. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2023.

ZOUBIR, H. *et al.* **Concrete bridge defects identification and localization based on classification deep convolutional neural networks and transfer learning**. *Remote Sensing*, v. 14, n. 19, p. 4882, 2022.

CAPÍTULO 67 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/hg3q0325
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/rv67r522

AVALIAÇÃO DE FALHAS EM REVESTIMENTO CERÂMICO DE FACHADA E SEUS IMPACTOS EM AMBIENTES INTERNOS: ESTUDO DE CASO

Adriana Augustin Silveira[1]*, Miriam de Moura Rotilli[2]; Natália Brugnera[3]
* adrianasilveira63@gmail.com

[1] Dra.em Construção Civil, UFRGS, Engenheira Civil, Solucione Engenharia e Consultoria, Passo Fundo, RS, Brasil.
[2] Especialista em Tecnologia de Fachadas e Revestimentos, IDD, Engenheira Civil, Solucione Engenharia e Consultoria, Passo Fundo, RS, Brasil.
[3] Especialista em Patologia e Desempenho das Construções, UNISINOS, Engenheira Civil, Solucione Engenharia e Consultoria, Passo Fundo, RS, Brasil.

RESUMO

As fachadas com revestimento cerâmico são amplamente empregadas na construção civil brasileira em função de sua durabilidade, facilidade de manutenção e desempenho estético. Entretanto, a ausência de projeto específico e falhas de execução podem comprometer a estanqueidade e o desempenho do sistema, resultando em manifestações patológicas precoces e intervenções corretivas de elevado custo. Este artigo apresenta um estudo de caso em uma edificação residencial de múltiplos pavimentos localizados em Passo Fundo/RS, no qual foram identificadas manifestações patológicas nos revestimentos interno de alguns ambientes como eflorescências, fissuração e degradação de revestimentos internos entre o 6º e o 21º pavimentos. A metodologia adotada integrou inspeção técnica, registro fotográfico, termografia infravermelha, ensaios de percussão e determinação do teor de umidade em diferentes camadas do sistema construtivo. Os pontos internos de ocorrência das manifestações patológicas foram coincidentes com os pontos da fachada onde foram identificadas falhas de execução do revestimento cerâmico. Além disso os dados quantitativos de umidade, com valores médios de 10,95% no emboço externo e entre 3,6% e 4,2% nos revestimentos internos, foram obtidos nos pontos em que se observou a ocorrência de infiltrações decorrentes da perda de estanqueidade do sistema. Os valores de umidade obtidos evidenciam que a combinação entre fissuração no emboço, descontinuidade das juntas de movimentação e mecanismos de percolação capilar foram determinantes para o desenvolvimento das manifestações patológicas observadas. Os resultados reforçam a importância do projeto de revestimento de fachadas (PRF) e da adequada compatibilização entre projeto e execução, demonstrando que a ausência desses elementos compromete o desempenho do sistema e pode demandar a reexecução integral do revestimento como medida corretiva.

Palavras-chave: fachadas com revestimento cerâmico; projeto de revestimento de fachada; estanqueidade de fachadas, desempenho higrotérmico.

ABSTRACT

Ceramic tile façade systems are widely used in Brazilian construction due to their durability, ease of maintenance, and aesthetic performance. However, the absence of a dedicated façade cladding design and execution deficiencies may compromise watertightness and overall system performance, leading to premature pathological manifestations and high-cost corrective interventions. This paper presents a case study of a multi-story residential building located in Passo Fundo, southern Brazil, where pathological manifestations were identified in interior finishes of selected units, including efflorescence, cracking, and material degradation between the 6th and 21st floors. The adopted methodology comprised on-site inspections, photographic documentation, infrared thermography, percussion testing, and moisture content measurements across different layers of the building envelope system. The locations of internal damage were found to coincide with façade areas exhibiting execution defects in the ceramic cladding system. Furthermore, quantitative moisture data—indicating average values of 10.95% in the external render layer and between 3.6% and 4.2% in interior finishes—were obtained at points where water infiltration due to loss of watertightness was observed. The measured moisture levels demonstrate that the combined effects of render cracking, discontinuities in movement joints, and capillary water transport mechanisms were decisive factors in the development of the observed damage. The results highlight the critical importance of façade cladding design (FCD) and proper coordination between design and construction processes, demonstrating that the absence of these elements compromises system performance and may require full replacement of the cladding system as a corrective measure.

*Keywords**:** Ceramic facades; Building pathology; Water infiltration; External cladding; Watertightness.*

1. INTRODUÇÃO

O uso de revestimentos cerâmicos em fachadas tornou-se recorrente em edificações residenciais verticais, principalmente por sua resistência às intempéries e facilidade de manutenção. Entretanto, o desempenho adequado desses sistemas depende diretamente da existência de um projeto específico que contemple a compatibilização entre materiais, substrato, juntas e detalhes construtivos, conforme preconiza a NBR 13755 (ABNT, 2017) Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante - Projeto, execução, inspeção e aceitação.

A estanqueidade desses sistemas depende não apenas da baixa absorção das placas cerâmicas, mas também da continuidade física das interfaces e da integridade da camada de regularização (emboço). Segundo Thomaz (2020), fissuras em argamassas externas constituem vias preferenciais de infiltração, sobretudo quando associadas a juntas mal dimensionadas. A NBR 13755 (ABNT, 2017) estabelece explicitamente a necessidade de controle da espessura do emboço e da correta execução das juntas de movimentação para garantir o desempenho do sistema.

A ausência de um projeto de revestimento de fachadas (PRF), aliada a falhas de execução, pode resultar em manifestações patológicas como infiltrações, destacamentos, fissuração e degradação precoce dos revestimentos internos e externos. Este trabalho tem como objetivo apresentar e analisar as manifestações patológicas identificadas em alguns ambientes internos localizados na fachada Leste de um edifício residencial de múltiplos pavimentos, destacando suas causas e

consequências, bem como a importância do projeto de revestimento de fachadas (PRF) para o desempenho da edificação.

A umidade nas edificações pode ter diferentes consequências dependendo da origem do fenômeno, do ambiente onde está inserido o elemento construtivo e do material no qual se manifesta (Marinho, 2014). É na origem que se diferenciam e subdividem os vários tipos de umidade, tendo cada um deles sintomas próprios. As manifestações patológicas resultantes da umidade podem ocorrer isoladamente ou associadas, pois umas podem tornar-se consequência de outras ou simplesmente porque o ambiente proporciona este acontecimento. Estes sinais ou sintomas podem ser detectados por observação visual, por medições e análises *in situ*, por ensaios laboratoriais ou por métodos de cálculo (Belizario-Silva, 2024).

Segundo Bianchetti (2021) a interação entre a água da chuva e as fachadas ocorre de diversas maneiras e é influenciada por diferentes fatores, como a velocidade do vento associada à chuva, as dimensões das gotas, as condições climáticas no momento da interação, a geometria do volume da edificação, a composição de detalhes incorporados ao revestimento e as propriedades do revestimento (entre outros fatores).

Em condições normais de precipitação, a direção da água da chuva é sobretudo vertical. No entanto, quando à precipitação está associada ao vento altera-se a trajetória da chuva, uma vez que a sua componente horizontal aumenta, e a pressão sobre o edifício também aumenta, o que torna as consequências mais graves (Henriques 1994, citado por Marinho 2014).

A infiltração da água da chuva em fachadas ocorre sobretudo quando existem fissuras no revestimento ou caso as juntas e arremates tenham sido mal executados. No entanto, a ação permanente da água da chuva, vai propiciar a infiltração de água por ação da sobrepressão do vento ou por capilaridade dos próprios materiais de revestimento.

Segundo a NBR 15575: 2021 a infiltração de água em fachadas ocorre normalmente através de fissuras ou destacamentos entre vedações e estrutura, falhas de rejuntamento entre paredes e caixilhos, empoçamento de água em peitoris etc. Pode ser evitada com a adoção de detalhes construtivos apropriados, correta escolha e aplicação de sistema de pintura das fachadas, rejuntamentos flexíveis entre paredes e esquadrias.

2. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO VISTORIADA

O objeto de análise trata-se de um edifício residencial de vinte e dois pavimentos localizado na cidade de Passo Fundo, R.S. O sistema construtivo é em concreto armado (pilares, vigas e lajes) e vedações verticais em alvenaria de blocos cerâmicos, com revestimento externo parte em placa cerâmica e parte em argamassa com acabamento em pintura. Em cada pavimento encontram-se 3 unidades habitacionais de área construída de 180 m^2. Antes da entrega da obra, ainda na fase de finalização a construtora identificou o aparecimento de manchas de umidade em alguns ambientes internos voltados para a fachada de fundos do edifício, conforme destacado na Figura 2.

Os principais sintomas identificados foram fissuras, estufamento e descascamento da tinta e manchas de bolor no revestimento interno, especialmente entre o 6º e o 21º pavimentos. Os sintomas foram identificados após longo período de chuvas intensas aparecendo inicialmente nos cantos dos ambientes internos mostrados na Figura 2, onde externamente foi executado um revestimento cerâmico, conforme indicado na Figura 1.

As áreas vistoriadas internamente, onde foram identificadas as anomalias, correspondem ao banheiro e dormitório dos apartamentos (Figura 2). Internamente esta área, foi revestida com argamassa de hidratação controlada (AHC) e acabamento em massa corrida e pintura. Externamente esta área foi revestida também com argamassa de hidratação controlada (AHC) e placas cerâmicas (20,2 x 86,5 cm) assentadas com argamassa colante ACIII - E.

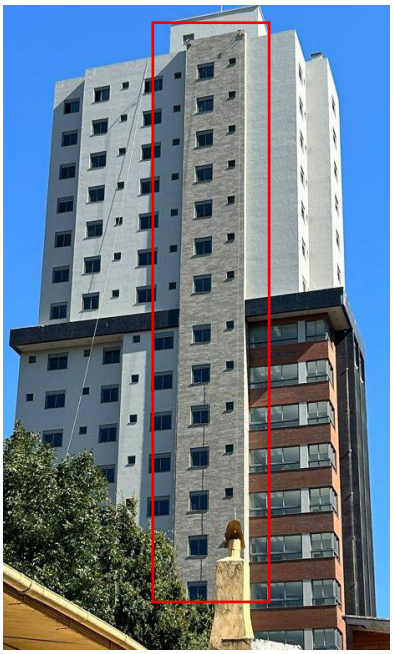


Figura 1 – Visão geral da fachada de fundos da edificação com destaque para a área com revestimento cerâmico. Fonte: as autoras.

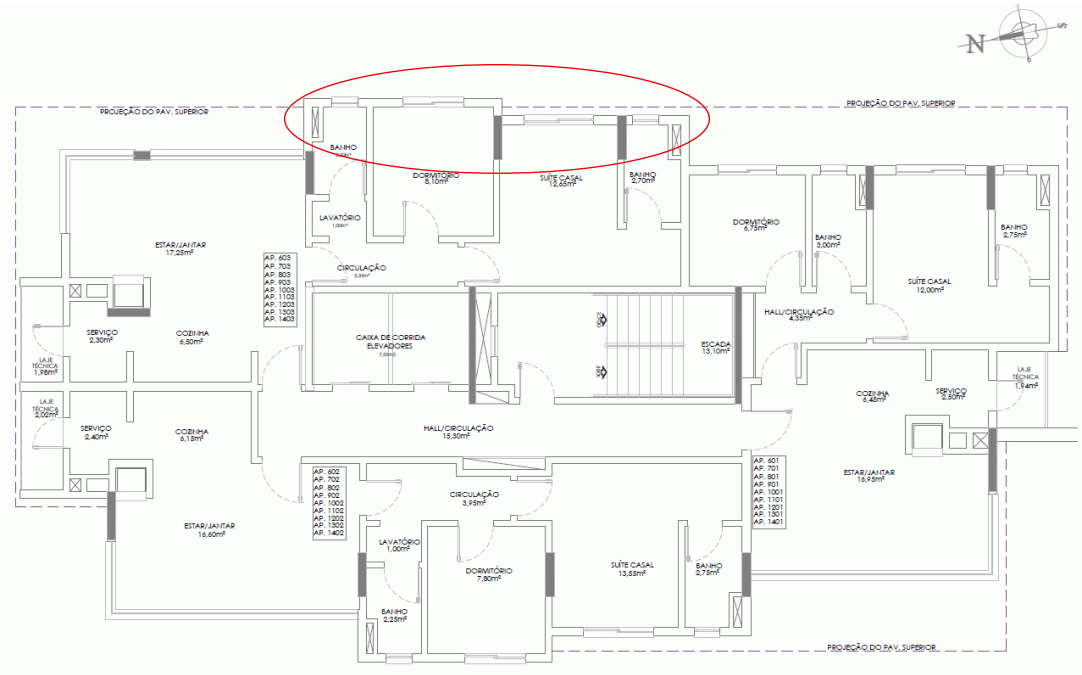


Figura 2 – Planta Baixa do 6º ao 21º pavimento e em destaque a área onde ocorreram as manifestações patológicas. Fonte: as autoras.

3. VISTORIA E PROCEDIMENTOS

A investigação técnica para a identificação e avaliação das causas dos sintomas identificados compreendeu as seguintes atividades:

- Vistoria visual interna e externa;
- Registro fotográfico sistemático das anomalias identificadas;
- Análise termográfica interna e externa para identificação de umidade oculta;
- Ensaio de percussão para avaliação da aderência do revestimento;
- Retirada de amostras do revestimento interno e externo;
- Determinação do teor de umidade das amostras por gravimetria;
- Análise comparativa com as exigências das normas NBR 13755 (ABNT 2017), NBR 7200 (ABNT, 1998) - Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – procedimento e NBR 15575 (ABNT, 2021) - Edificações habitacionais – desempenho.

A vistoria foi realizada inicialmente nas áreas internas, que apresentaram manchas de umidade, manchas de bolor, fissuração no revestimento, estufamento e descascamento da tinta. Durante a vistoria interna foram realizadas análise termográfica, ensaio de percussão, e retirada de amostras para a determinação do teor de umidade e reconstituição de traço da argamassa de emboço utilizada. Posteriormente procedeu-se a vistoria externa na fachada de fundos do edifício, voltada para Leste, com a retirada de amostras, inspeção com drone e câmera termográfica acoplada, determinação da resistência de aderência, além do registro fotográfico das anomalias identificadas.

A análise termográfica realizada nos ambientes internos teve como objetivo identificar os pontos com maior presença de umidade. A termografia basicamente é a percepção da temperatura superficial de um corpo pelo mecanismo de transferência de calor (radiação), uma vez que todo corpo com temperatura acima do Zero Absoluto emite radiação térmica. Pode-se observar a diferença de temperatura através do gradiente de cores obtido nas imagens. As regiões mais frias, em tons de azul ou lilás indicam presença de umidade. Com a determinação da temperatura superficial em diferentes pontos, é possível detectar a presença de umidade antes de aparecer a mancha visível, normalmente detectada pelo usuário. Para a realização deste ensaio foi utilizada uma câmera FLIR C5 com um gerador de imagens térmicas de 160 x 120 (19.200 pixels).

Após a identificação dos sintomas pela parte interna do edifício foi realizada a inspeção externa a fim de avaliar possíveis falhas no revestimento cerâmico que pudessem estar causando o ingresso da água da chuva. A inspeção externa foi realizada com um drone DJI MAVIC 3-Enterprise Thermal, com câmera termográfica acoplada de resolução de 640 x 512 (327.680 pixels).

Foram retiradas amostras do revestimento interno e externo *in loco* com o objetivo de determinar o teor de umidade em laboratório, tanto na argamassa de revestimento interno, quanto na argamassa de revestimento externo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As inspeções internas revelaram manifestações recorrentes de estufamento e descascamento da pintura, manchas de bolor, eflorescências e elevada umidade no revestimento argamassado, conforme observa-se na Figura 3 e Figura 4. A análise termográfica indicou diferenças de temperatura superficial entre 2 °C e 3 °C nas regiões próximas às janelas, confirmando a presença de umidade, conforme observa-se na Figura 5.

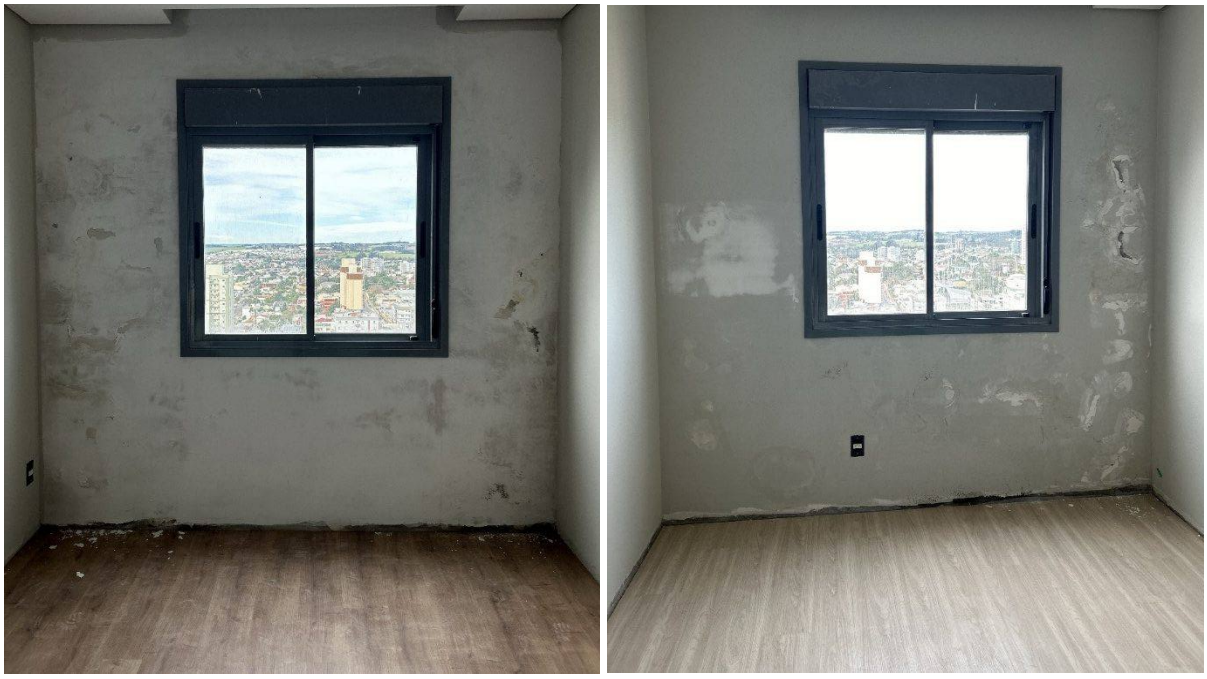


Figura 3 – Manchas de bolor, estufamento e descascamento da tinta no entorno das janelas nos 19º e 20º pavimentos. Fonte: as autoras.

Externamente foram vistoriadas as áreas revestidas com placa cerâmica entre o 6º e 21º pavimentos, principalmente nas regiões onde internamente identificou-se a presença de áreas com estufamento da tinta, manchas de bolor e eflorescências.



Figura 4 – Manchas de bolor, estufamento e descascamento da tinta no entorno das janelas nos 13º e 7º pavimentos. Fonte: as autoras.

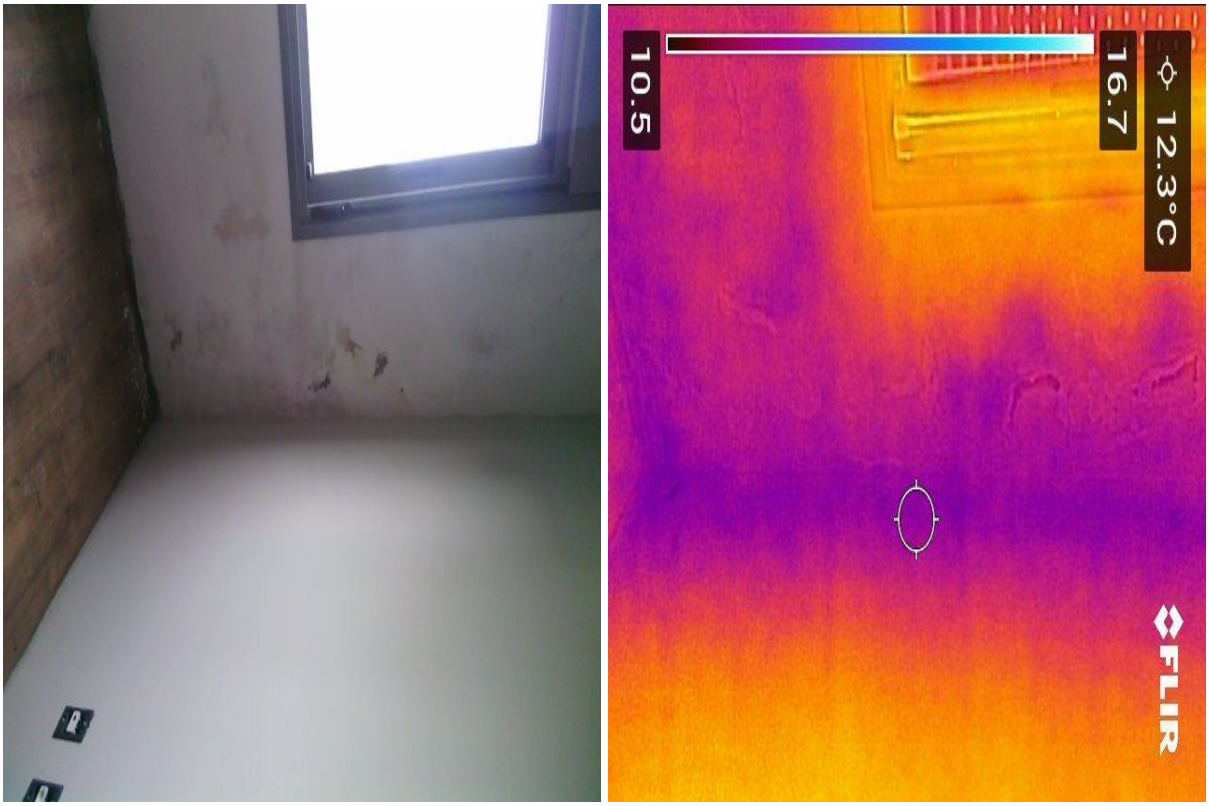


Figura 5 – Imagem normal à esquerda e termográfica à direita evidenciando a concentração de umidade nos cantos do ambiente no 12º andar. Fonte: as autoras.

Durante a vistoria foram retiradas amostras do revestimento interno e externo em alguns pontos da fachada como a área mostrada na Figura 3, para determinação do teor de umidade por gravimetria.

Na vistoria externa, observou-se algumas falhas de execução das placas cerâmicas que podem ter contribuído para o ingresso da água da chuva tais como: a irregularidades na espessura da junta de assentamento (variando de 0,3mm a 3mm), fissuras na argamassa de rejuntamento, a falta de planeza entre placas consecutivas, a execução das juntas de movimentação em locais diferentes (desencontro entre juntas de movimentação formadas no emboço e no revestimento cerâmico), recortes excessivos nas placas cerâmicas e assentamento a 90º em cantos onde ocorre a mudança de direção do revestimento cerâmico, conforme pode ser visto na Figura 6 até a Figura 8.

A placa cerâmica utilizada externamente na fachada é classificada como porcelanato e de acordo com o certificado de especificação técnica do fabricante possui absorção de água $\leq$ 0,50% e expansão por umidade $\leq$ 0,3 mm/m. Em função das características, principalmente a taxa de absorção e água e a EPU a placa atende os requisitos para a utilização em revestimentos de fachada.

As pingadeiras instaladas nas janelas possuem inclinação suficiente para descolar a água da chuva em relação à fachada, no entanto observou-se fissuras na argamassa de rejuntamento das placas cerâmicas próximas as pingadeiras, em vários pavimentos, conforme observa-se na Figura 6 até a Figura 8.

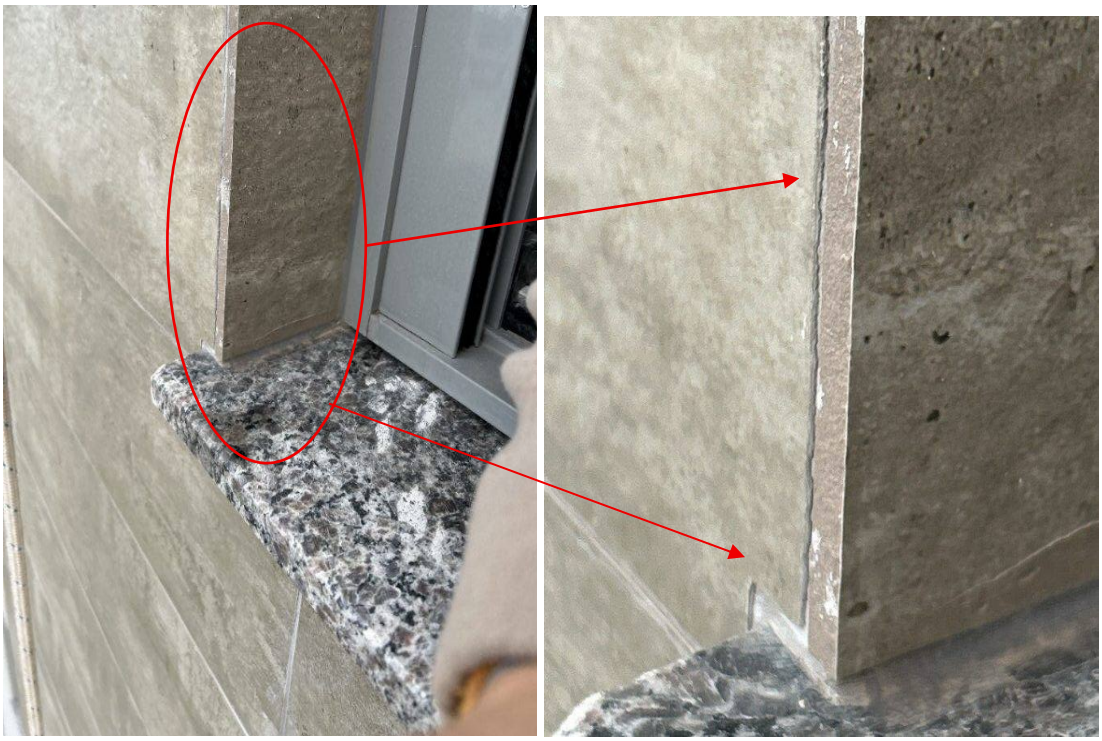


Figura 6 – Fissura na argamassa de rejuntamento e recorte excessivo na face inferior da placa. Fonte: as autoras.



Figura 7 – Fissura na junta de assentamento entre duas placas no entorno de uma janela e junta horizontal de movimentação posicionada de forma incorreta. Fonte: as autoras.



Figura 8 –Argamassa de rejuntamento fissurada na lateral de uma janela e acabamento a 90º na região da verga de uma janela. Fonte: as autoras.

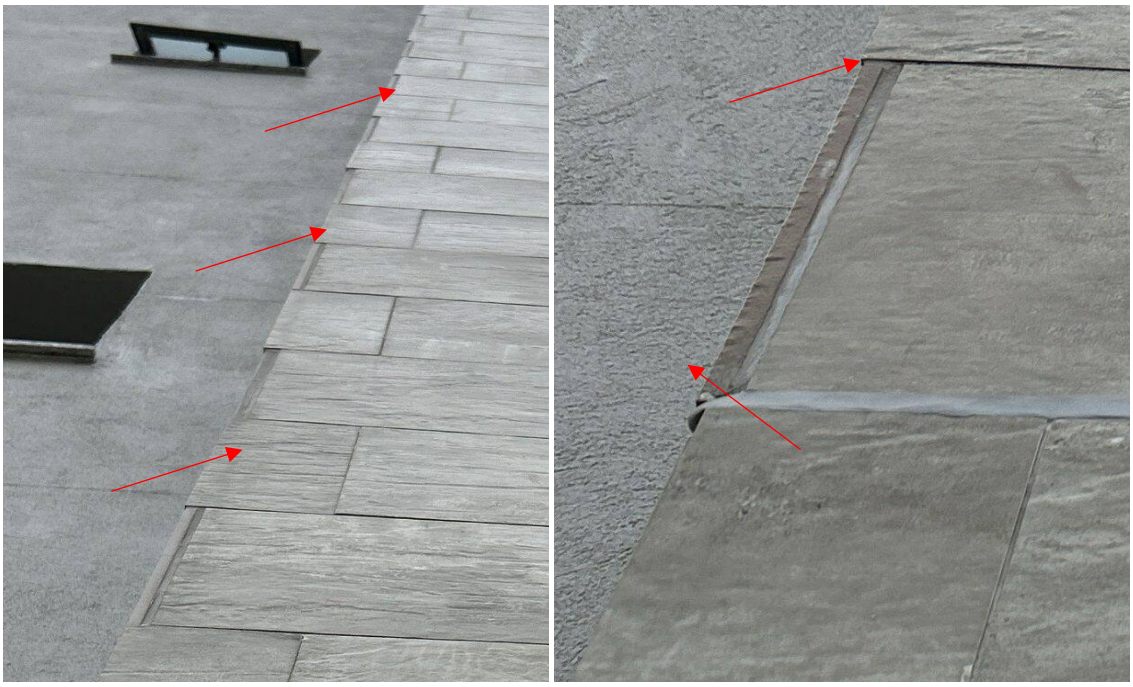


Figura 9 – Detalhe do encontro das placas cerâmicas no canto externo da fachada e falha na aplicação do selante da junta de movimentação horizontal. Fonte: as autoras

.



Figura 10 – Amostra retirada no 15º pavimento apresentando fissuras e espessura excessiva.
Fonte: as autoras.

Segundo Marinho:2014 a migração de água em argamassas ocorre por três mecanismos principais: percolação gravitacional (em presença de fissuras abertas); capilaridade (em rede de poros interconectados) e difusão de vapor (por gradiente de pressão parcial). Em sistemas fissurados, a percolação domina, podendo elevar significativamente o teor de umidade do material.
A presença de vazios e microfissuras aumenta a permeabilidade hidráulica efetiva, reduzindo a resistência à penetração da água. Desta forma as fissuras identificadas na camada de emboço juntamente com as falhas na execução das placas cerâmicas facilitaram a percolação da água da chuva para a parte interna da edificação.

Identificou-se também na vistoria externa a utilização de tela metálica (do tipo galinheiro) com o objetivo de estruturar a camada de emboço em locais de espessura superior a 3 cm, conforme pode ser visto na Figura 11. Ressalta-se que segundo a NBR 13755 (ABNT, 2017), neste tipo de reforço que são utilizados para espessuras de emboço superiores a 3 cm, a tela metálica deve possuir galvanização em camada pesada (150g/m^2) e fio de no mínimo 1,5mm com abertura entre fios de no mínimo 25mm. Além da tela utilizada ser de aço comum, já apresentando pontos de corrosão e não atender a especificação de dimensões, a mesma foi fixada sobre o chapisco, ou seja muito próxima a alvenaria, não estruturando a camada de emboço que apresenta 5 cm de espessura.



Figura 11 – Tela metálica fixada sobre o chapisco no 15º pavimento. Fonte: as autoras.

5. CONCLUSÕES

Na conclusão deste trabalho, após a análise das anomalias identificadas na vistoria, observa-se que vários fatores causaram a entrada de água da chuva pelo revestimento externo da fachada leste do edifício entre o 6º e 21º pavimentos. Os sintomas identificados internamente e característicos da presença de umidade no revestimento argamassado, são consequência do ingresso da água da chuva pela fachada da edificação. Os pontos onde foram identificados estufamento, descascamento da tinta e formação de eflorescência na superfície do revestimento argamassado interno, ocorrem sempre na região onde foi executado o revestimento com placa cerâmica externamente apresentando valores de umidade entre 4 e 11% na argamassa de revestimento.
Com base na vistoria interna e externa da fachada leste do edifício as seguintes falhas, com relação ao sistema de revestimento externo, foram identificadas:

- Irregularidade da base de assentamento das placas cerâmicas: argamassa de emboço não desempenada e apresentando fissuras e vazios,
- Posição e tipo de tela utilizada como reforço do emboço inadequados,
- Desencontro na posição entre as juntas de movimentação entre placas cerâmicas e juntas de movimentação do emboço,
- Ausência de limitador de profundidade nas juntas de movimentação executados no emboço,
- Ausência da aplicação do impermeabilizante nas juntas de movimentação do emboço,
- Fissuração na argamassa de rejuntamento em vários pontos,
- Placas cerâmicas de área superior a 900cm^2 assentadas apenas com camada simples em argamassa colante. Segundo a NBR13755 (ABNT, 2017) placas com esta área são de condições especiais de aplicação. Além disso identificou-se que as placas foram assentadas a 90º, nas arestas ou cantos externos,
- Ausência de juntas de dessolidarização na mudança de tipos de revestimentos (argamassado e cerâmico) e na mudança de direção de planos (cantos internos e externos),

As manifestações patológicas identificadas são decorrentes, principalmente, da ausência de um

projeto específico de revestimento de fachada (PRF), associado a falhas significativas na execução do emboço, das juntas de movimentação e do assentamento das placas.

Conclui-se que a falta de atendimento às recomendações normativas comprometeu a estanqueidade do sistema de revestimento externo afetando também as áreas internas da edificação. O desempenho quanto à estanqueidade só foi reestabelecido através da retirada total do revestimento existente e a reexecução de um novo revestimento na fachada avaliada. A execução do novo revestimento foi realizada com base em um projeto técnico adequado com posicionamento correto das juntas de movimentação e detalhes construtivos.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755: Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante – projeto, execução, inspeção e aceitação – procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 57 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais – desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BELIZARIO-SILVA, F.; BRITO, A. C. de. Efeito da variação das características higrotérmicas do concreto no comportamento higrotérmico de uma parede. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 24, e131624, jan./dez. 2024. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212024000100713.

BIANCHETTI, L. G. M. **Design construtal aplicado à interação entre a chuva dirigida e as fachadas de edificações**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

MARINHO, M. I. M. **Diagnóstico de patologias associadas à humidade utilizando técnicas não destrutivas**. 2014. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2014.

THOMAZ, É. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. 240 p.

CAPÍTULO 68 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/6w0hbj34
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/aesz5798

INSPEÇÃO DE FACHADAS COM VANT: EFICÁCIA NA IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UM ESTUDO DE CASO

Leonardo Costa Ramos[1]*; Júlia Cordeiro Vieira[1]; Murillo Henrique Ferreira[1]; Carolina Vieira de Andrade[2].
*Autor de contato: leocostaramos@outlook.com

[1] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, Brasil.
[2] Departamento de Engenharia Civil e Meio Ambiente (DECMCV), Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Curvelo, Brasil.

RESUMO

A inspeção de fachadas é essencial à manutenção predial, mas os métodos tradicionais envolvem riscos ocupacionais, custos elevados e limitações operacionais. Este artigo avalia a eficácia da inspeção de fachadas realizada por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), analisando a identificação de manifestações patológicas, cobertura visual, precisão métrica, segurança e limitações tecnológicas, com uso complementar do método manual convencional. Realizou-se um estudo de caso em Belo Horizonte/MG, com planejamento automatizado de voo, processamento fotogramétrico de alta qualidade e análise dos resultados conforme critérios normativos. Os resultados mostraram que o VANT ofereceu ampla cobertura das fachadas, maior segurança e precisão satisfatória (desvios inferiores a 1%), permitindo mensuração remota de fissuras e desplacamentos. Sua eficácia, entretanto, depende de fatores como vegetação densa e instabilidade do sinal GNSS. Conclui-se que o VANT é ferramenta complementar, sendo a abordagem híbrida a mais indicada, contribuindo para aprimoramento técnico e decisório na engenharia diagnóstica.

Palavras-chave: patologia das construções; aerofotogrametria; condições de contorno; abordagem híbrida; inspeção predial.

ABSTRACT

Facade inspection is essential for building maintenance; however, traditional methods still involve occupational risks, high costs, and operational constraints. This study aims to compare the effectiveness of facade inspections conducted using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and conventional manual methods, evaluating pathological identification, visual coverage, metric accuracy, operational safety, and technological limitations. A case study was carried out in Belo Horizonte, Brazil, applying both approaches in parallel, including automated flight planning, high-quality photogrammetric processing, and comparative analysis based on technical standards. Results showed that the UAV provided broader facade coverage, improved operational safety, and satisfactory metric accuracy (deviations below 1%), enabling remote measurement of cracks and delaminated areas. However, its performance was influenced by boundary conditions such as dense vegetation and GNSS signal instability. The findings indicate that UAV technology should be considered a complementary tool, with a hybrid inspection strategy being the most appropriate approach, contributing to improved technical decision-making in building diagnostics.

Keywords: building pathology; aerial photogrammetry; boundary conditions; hybrid approach; building inspection.

1. INTRODUÇÃO

A inspeção e o diagnóstico dos elementos construtivos, especialmente do sistema de vedação vertical externo (fachadas), são atividades centrais da engenharia diagnóstica. As fachadas constituem a primeira linha de defesa da edificação contra agentes de degradação ambiental, estando sujeitas a manifestações patológicas decorrentes de esforços mecânicos, variações térmicas e falhas de manutenção, que podem comprometer seu desempenho e sua vida útil de projeto (ABNT, 2024; Silva *et al.*, 2024).

No Brasil, a avaliação do estado de conservação das edificações segue as diretrizes do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE, 2025) e da NBR 16747 (ABNT, 2020), que classificam as irregularidades em anomalias e falhas, categorizando-as segundo o grau de risco à segurança e à operação. Tradicionalmente, a inspeção de fachadas baseia-se em avaliação visual direta, com uso de andaimes, plataformas elevatórias ou acesso por corda. Embora consolidado, esse método apresenta limitações relacionadas ao tempo de execução, custo, necessidade de mão de obra especializada e exposição ao risco em trabalho em altura (Zhou; Tiong, 2026).

Diante dessas limitações, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) têm emergido como alternativa tecnológica viável para inspeções prediais. Equipados com sensores de alta resolução e sistemas de posicionamento baseados em *Global Navigation Satellite System* (GNSS), atuam como plataformas aerofotogramétricas capazes de gerar fotografias digitais, ortomosaicos e modelos tridimensionais (Lima *et al.*, 2020; Ruiz *et al.*, 2022), possibilitando a identificação de fissuras, desplacamentos e degradação biológica com maior agilidade e menor exposição ao risco.

A literatura recente tem demonstrado a viabilidade técnica do uso de VANTs em inspeções de fachadas. Tondelo e Barth (2019) evidenciaram a aplicabilidade do método na identificação de anomalias em fachada industrializada, destacando sua agilidade e eficiência, embora condicionada a fatores climáticos. Ballesteros e Lordsleem Junior (2021) e Ruiz *et al.* (2022) verificaram que fotografias digitais originais dos VANTs apresentam desempenho superior na detecção de manifestações patológicas quando comparadas a ortomosaicos e modelos 3D processados. Falorca e Lanzinha (2021) reforçaram a versatilidade e o potencial econômico da tecnologia, salientando a necessidade de padronização de procedimentos. Bordinhão *et al.* (2024) demonstraram a aplicabilidade do método para mapeamento quantitativo de danos por meio de malha de inspeção, enquanto Ferreira *et al.* (2024) destacaram o potencial da integração com termografia infravermelha para identificação de padrões associados à umidade e destacamentos não visíveis a olho nu. Além disso, Meira, Guedes e Bias (2024) apontam que a incorporação de técnicas de *deep learning* representa avanço significativo na automatização do diagnóstico, embora dependente da qualidade das imagens e de protocolos consolidados.

Apesar dos resultados promissores, grande parte dos estudos concentra-se na demonstração da viabilidade técnica, operacional e econômica do uso de drones, sendo ainda limitadas as investigações com comparação direta entre inspeção por VANT e método convencional. Cassimiro *et al.* (2025) apontaram ganhos operacionais de até 40% e redução de custos em relação ao uso de andaimes, enquanto Costa *et al.*, (2023) verificaram que, embora mais ágil e econômico, o VANT, quando restrito à inspeção visual, pode não identificar destacamentos incipientes detectáveis por ensaio de percussão, evidenciando a necessidade de análise crítica quanto à substituição ou complementaridade dos métodos. Ademais, persistem limitações operacionais relacionadas a interferências de sinal, obstáculos físicos e condições climáticas (Tondelo; Barth, 2019), reforçando a necessidade de validação sistemática da tecnologia frente às práticas convencionais.

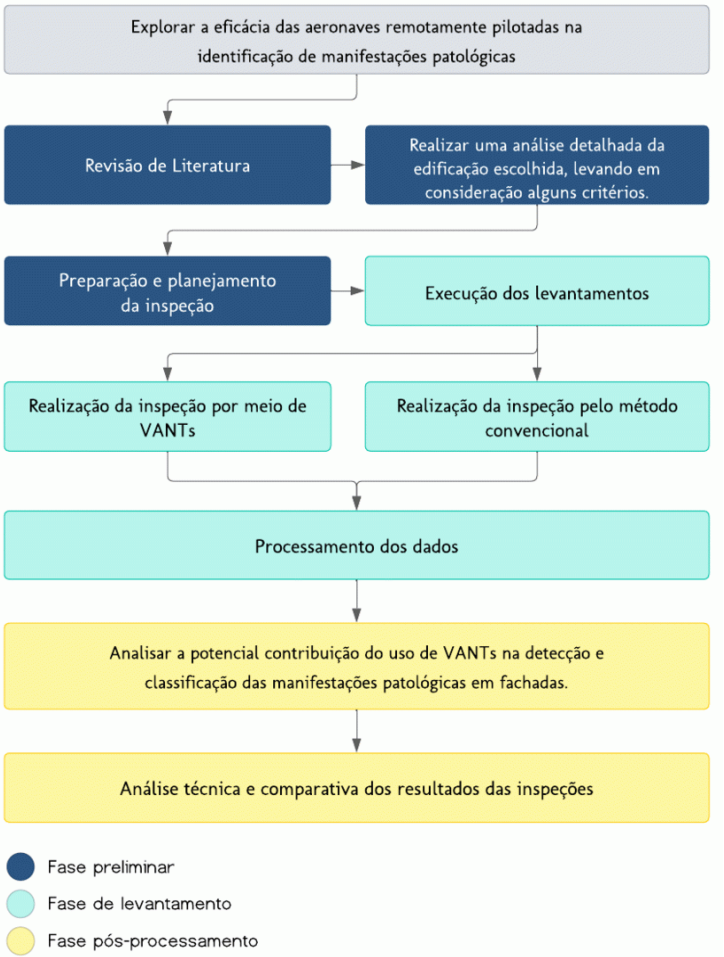
Diante desse cenário, identifica-se como lacuna a ausência de estudos comparativos estruturados que analisem, em uma mesma edificação e sob condições controladas, a eficácia relativa entre a inspeção manual e a inspeção por VANT quanto à capacidade de identificação de manifestações patológicas. Além disso, são escassas as investigações que considerem, de forma integrada, aspectos de segurança operacional, cobertura visual e limitações tecnológicas, como interferências de sinal e presença de obstáculos físicos, capazes de influenciar a aplicabilidade e a confiabilidade dos métodos.

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia da inspeção de fachadas realizada por VANT, por meio de um estudo de caso aplicado, examinando a capacidade de identificação das manifestações patológicas, o tempo de execução, os custos operacionais e as condições de segurança, com uso complementar do método convencional para suprir as limitações do método aéreo, contribuindo para o aprimoramento das diretrizes técnicas de inspeção predial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi estruturada em três etapas sequenciais: (i) preparação e planejamento; (ii) levantamento de campo; e (iii) processamento e análise dos dados. A Figura 1 apresenta o fluxograma sintético do percurso metodológico adotado.

Figura 1 – Etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: os autores.

2.1 Área de estudo

O estudo de caso foi conduzido nas quatro fachadas do Prédio 18, localizado no Campus Nova Gameleira do CEFET-MG, em Belo Horizonte. Trata-se de uma edificação institucional de médio porte em concreto armado, com revestimentos em pintura convencional, esquadrias de alumínio e fechamento em vidro refletivo. A seleção fundamentou-se na ocorrência visível de manifestações patológicas e na diversidade de condições de contorno (vegetação, vãos e inclinações de terreno) que impõem desafios reais a ambos os métodos de inspeção. As fachadas analisadas podem ser visualizadas na Figura 2, que apresenta as orientações Norte (a), Leste (b), Sul (c) e Oeste (d).

Figura 2 – Fachada Norte (a), Leste (b), Sul (c) e Oeste (d)



Fonte: os autores.

2.2 Procedimentos de levantamento de dados

O levantamento de campo foi executado por meio da aplicação paralela dos métodos convencional e mediado por VANT. A inspeção convencional restringiu-se a áreas de acesso viável no nível do solo e pavimentos acessíveis, utilizando ferramentas manuais (trena, fissurômetro impresso) e registro fotográfico direto com câmera de 48 MP para anotação *in loco* das patologias, totalizando 180 imagens.

O método aéreo empregou um VANT modelo DJI Phantom 4 Pro. O delineamento das rotas foi realizado no *software* Drone Harmony, configurando voos automatizados com malha ortogonal, ajustando-se a distância e a sobreposição conforme a geometria de cada face estrutural. A operação gerou 256 imagens ortogonais de alta resolução. Em fachadas com restrição de espaço ou bloqueio de sinal GNSS, o voo autônomo foi substituído por pilotagem manual complementar.

2.3 Processamento e análise comparativa

As imagens capturadas pelo VANT foram processadas no *software* Agisoft Metashape com qualidade *ultra high* para a geração das nuvens de pontos densas, malhas texturizadas e ortomosaicos tridimensionais das fachadas.

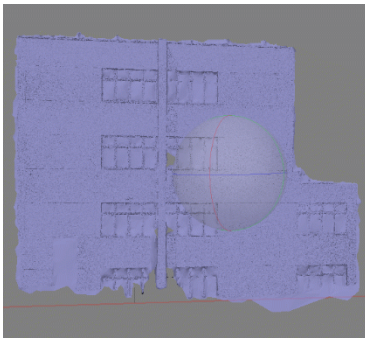
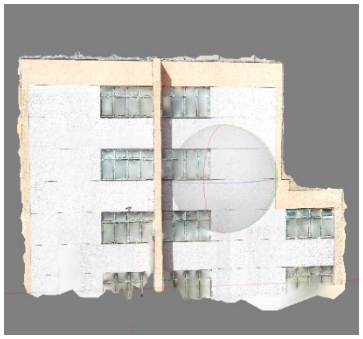
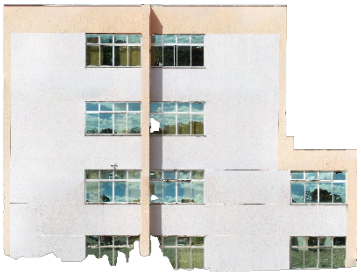
A análise comparativa entre os métodos baseou-se em critérios qualitativos e operacionais alinhados à NBR 16747:2020 e à literatura técnica, avaliando precisão dimensional (comparação entre as medições do ortomosaico e a trena física), segurança operacional, cobertura visual, limitações tecnológicas (sinal, obstáculos) e identificação patológica. A identificação das manifestações patológicas, por sua vez, deu-se pela análise visual integrada dos ortomosaicos gerados e das imagens obtidas pela inspeção convencional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Condições de execução e limitações operacionais

A execução do levantamento com o VANT apresentou variações significativas de desempenho conforme as condições físicas e ambientais da edificação. Tais diferenças interferiram diretamente na qualidade dos modelos fotogramétricos digitais produzidos (Quadro 1), os quais foram fundamentais para a acurácia do diagnóstico das anomalias construtivas.

Quadro 1 – Modelo digital produzido no *software* Agisoft Metashape.

Modelos 3D		Ortomosaico
Malha triangular	Modelo texturizado	
		

Fonte: os autores.

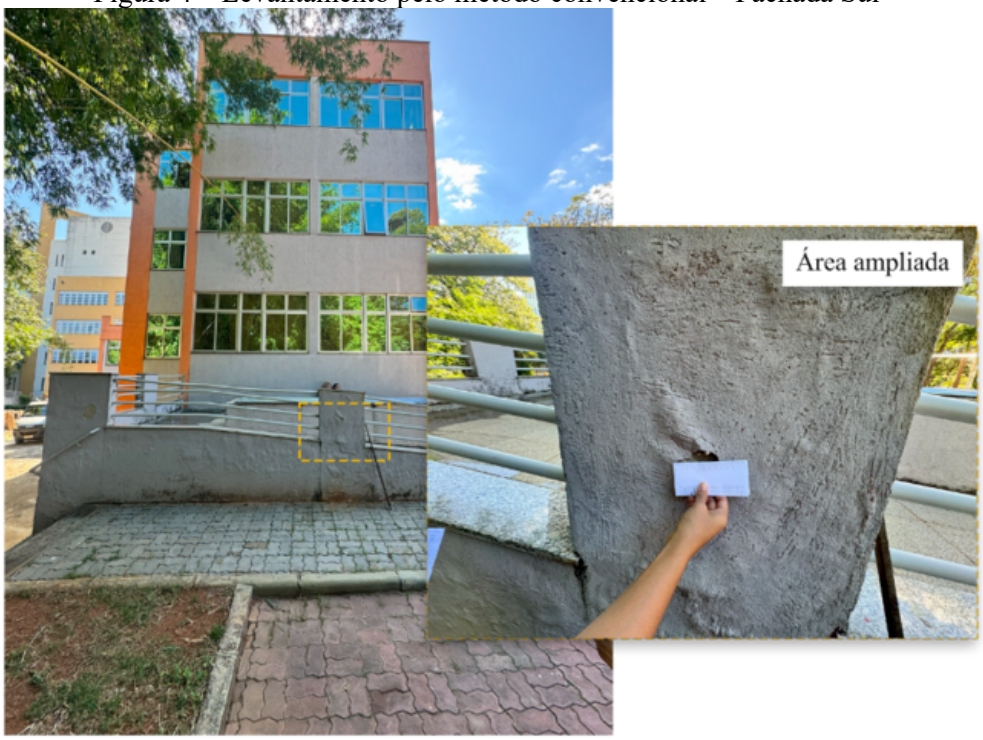
Cenários mais restritivos foram observados nas fachadas Oeste e Sul, onde a ausência de área livre e a presença de vegetação densa (Figura 3) inviabilizaram o voo autônomo. Nesses locais, optou-se pela pilotagem manual, que, embora tenha gerado uma ortofoto satisfatória na face Oeste, resultou em imagens com desfoque e baixa sobreposição na face Sul, impossibilitando a geração do seu ortomosaico. Diante dessas condições críticas, a inspeção visual convencional mostrou-se indispensável para suprir as lacunas do mapeamento aéreo (Figura 6).

Figura 3 – Vegetação existente no entorno da edificação



Fonte: os autores.

Figura 4 – Levantamento pelo método convencional – Fachada Sul

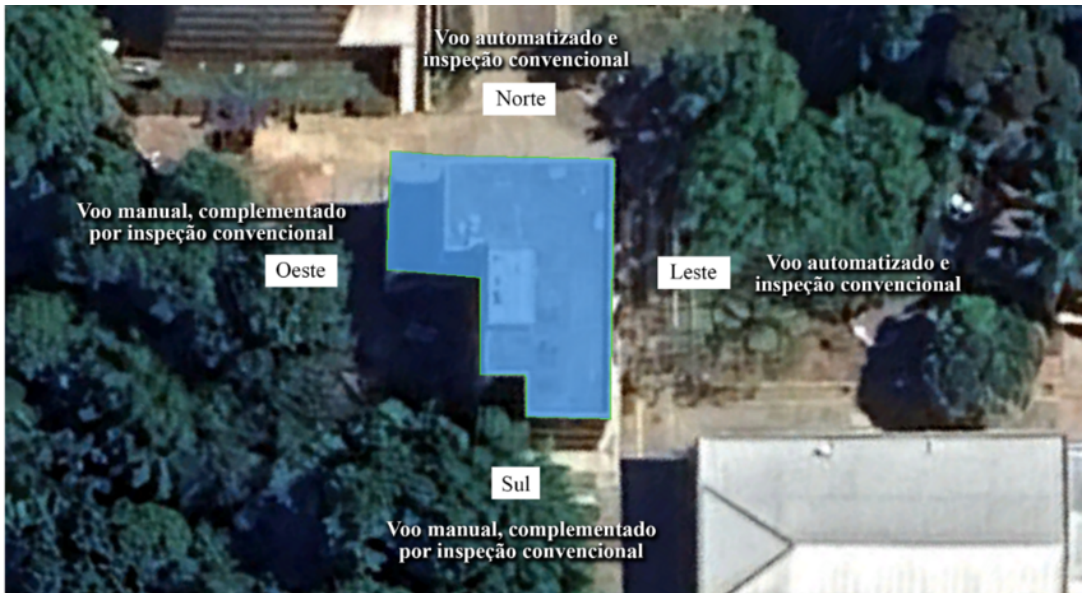


Fonte: os autores.

Além das barreiras físicas, a operação foi impactada por limitações tecnológicas, notadamente a instabilidade do sinal GNSS. Durante o levantamento, a disponibilidade de satélites manteve-se frequentemente abaixo do mínimo recomendado (sete satélites) para equipamentos *DJI*. Conforme

Eisenbeiss (2009), essa deficiência compromete a precisão do voo automatizado, resultando em desvios entre a rota planejada e a executada. Diante desses fatores, fez-se necessária uma distribuição estratégica dos métodos de inspeção, adaptando a abordagem de inspeção a cada fachada (Figura 5).

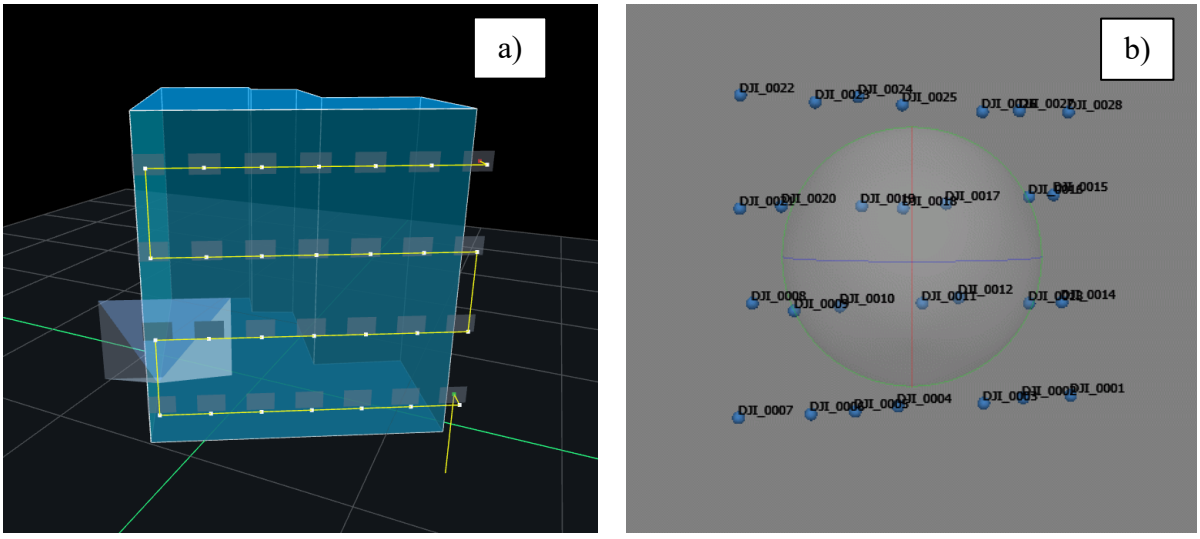
Figura 5 – Distribuição dos métodos de voo e inspeção por fachada



Fonte: os autores.

A análise operacional evidenciou que a Fachada Norte apresentou as condições mais favoráveis à automação. Contudo, devido às oscilações de sinal, foram exigidos ajustes preventivos de altitude para evitar colisões com estruturas adjacentes, o que gerou um desvio mensurável na trajetória do equipamento (Figura 6). Na Fachada Leste, a inclinação do terreno impôs desafios semelhantes, dificultando a manutenção de uma distância constante e gerando imagens excessivamente oblíquas.

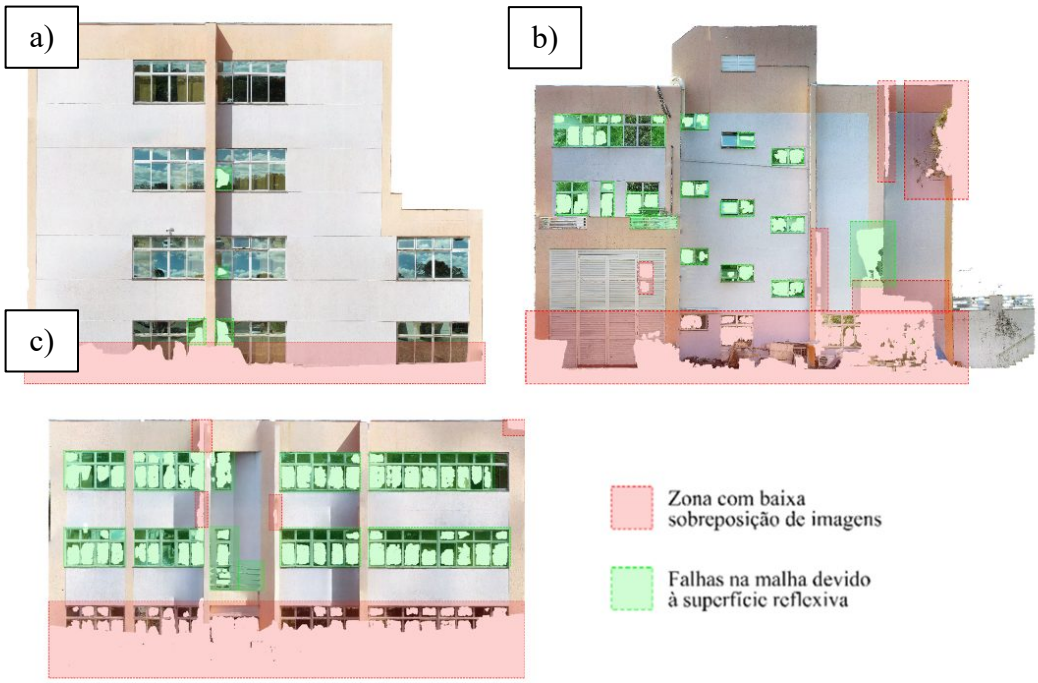
Figura 6 – Voo projetado (a) e voo executado (b) na Fachada Norte



Fonte: os autores.

Por fim, constatou-se que áreas com baixa sobreposição fotográfica, geometrias complexas e superfícies reflexivas nas esquadrias provocavam distorções algorítmicas no *software* Metashape, gerando zonas recorrentes de falha na malha. A Figura 7 ilustra o padrão dessas anomalias de processamento nas fachadas Norte (a), Leste (b) e Oeste (c).

Figura 7 – Zonas de falha na reconstrução das malhas tridimensionais: Fachadas (a) Norte, (b) Oeste e (c) Leste



Fonte: os autores.

3.2 Precisão do VANT para inspeção de fachadas

Na Fachada Norte, um trecho de esquadria mensurado *in loco* em 2,98 m registrou 3,01 m no modelo digital (diferença de 3 cm). Na Fachada Leste, submetida a maior distância focal e incidência de sombras, a medição física de 6,52 m resultou em 6,47 m no *software* Agisoft Metashape.

A aplicação da correlação matemática evidenciou imprecisões percentuais de 0,99% e 0,76%, respectivamente. Tais desvios submétricos indicam uma fidelidade geométrica espacial, ratificando a viabilidade técnica dos ortomosaicos para a medição remota de manifestações patológicas (comprimento e espessura de trincas, além de áreas de desplacamento) no escopo da engenharia de diagnósticos.

3.3 Identificação das manifestações patológicas

A identificação das manifestações patológicas foi realizada por meio da análise integrada de ortomosaicos de VANT e imagens de inspeção convencional. A análise das ortofotos de alta resolução viabilizou a detecção e a medição geométrica (comprimento, espessura e área) de anomalias em pequena e média escala. Foi possível, por exemplo, mensurar trincas e rachaduras.

Como exemplo ilustrativo do procedimento adotado, apresenta-se na Figura 8 a mensuração de uma rachadura com abertura de 5,06 mm (±1%).

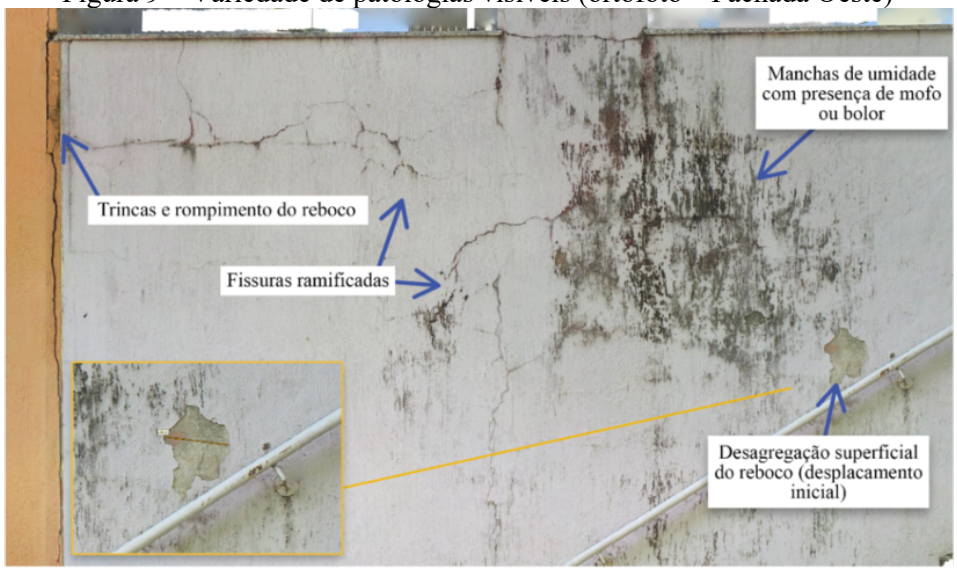
Figura 8 – Mensuração de danos (ortofotos)



Fonte: os autores.

A análise visual das fachadas evidenciou a necessidade de intervenção técnica devido a diversas manifestações recorrentes. Identificou-se a presença de trincas horizontais e fissuras superficiais ramificadas, características de retração plástica e higroscópica ou de movimentação estrutural. Notou-se, também, a degradação do revestimento, iniciada pela desagregação superficial do reboco, indicativo de perda de coesão, culminando em desplacamento de pintura em variados graus de severidade (Figura 9).

Figura 9 – Variedade de patologias visíveis (ortofoto – Fachada Oeste)



Fonte: os autores.

Em termos de desempenho metodológico, as abordagens demonstraram-se complementares. Quando aplicado em superfícies desobstruídas e com sinal GNSS estável, o voo automatizado com VANT viabilizou o mapeamento sistemático e a inspeção de áreas elevadas. Por outro lado, a inspeção convencional mostrou-se indispensável em pontos críticos com geometria complexa ou

restrição espacial, a exemplo do vão inferior da Fachada Leste (Figura 10). Esse trecho específico apresenta um recuo estrutural acentuado, o que impede a aeronave de manter um afastamento seguro, resultando em fortes limitações operacionais de voo e falhas na modelagem fotogramétrica.

Figura 10 – Levantamento por método convencional: vão na Fachada Leste



Fonte: os autores.

A precisão métrica dos ortomosaicos permitiu a extração confiável das dimensões das anomalias. Contudo, a exatidão dos dados deve ser interpretada considerando as limitações operacionais inerentes ao método (variações no afastamento frontal, altitude, interferências GNSS e superfícies refletivas).

3.4 Discussão e comparação metodológica

Os resultados obtidos corroboram a literatura quanto à viabilidade técnica e operacional do uso de VANTs na inspeção de fachadas, especialmente no que se refere à segurança operacional e à ampla cobertura visual, conforme apontado por Tondelo e Barth (2019), Falorca e Lanzinha (2021) e Cassimiro *et al*. (2025). Assim como nesses estudos, verificou-se redução da exposição ao trabalho em altura e maior celeridade na aquisição de dados, além da geração de registro digital permanente com precisão métrica satisfatória (desvios inferiores a 1%), em consonância com Ballesteros e Lordsleem Junior (2021) e Ruiz *et al*. (2022).

No entanto, diferentemente de parte da literatura que enfatiza predominantemente os ganhos de produtividade e segurança, este estudo evidenciou de forma mais crítica a dependência do método às condições de contorno. A presença de vegetação densa, geometrias complexas e instabilidade do sinal GNSS comprometeu a automação do voo e, em casos específicos, inviabilizou a geração de ortomosaicos, reforçando as limitações operacionais já mencionadas por Tondelo e Barth (2019). Esses achados dialogam diretamente com Meira, Guedes e Bias (2024), que destacam que a eficácia das tecnologias baseadas em VANT depende da qualidade das imagens, do planejamento de voo e de protocolos consolidados.

Além disso, ao confirmar a necessidade de abordagem híbrida, os resultados aproximam-se das conclusões de Costa *et al*. (2023), ao demonstrar que o VANT atua como ferramenta complementar, não substitutiva, sobretudo em áreas oclusas ou com restrições técnicas. Dessa forma, o estudo contribui ao oferecer uma comparação estruturada sob condições reais, avançando na validação crítica da tecnologia frente aos métodos convencionais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho comparou, em estudo de caso aplicado, a eficácia da inspeção de fachadas por método convencional e por VANT, evidenciando diferenças quanto à cobertura visual, segurança operacional e confiabilidade diagnóstica. A aerofotogrametria apresentou precisão métrica satisfatória (desvios inferiores a 1%) e possibilitou a mensuração remota de fissuras e áreas de desplacamento. Observou-se maior celeridade na aquisição de dados em campo e geração de modelo digital permanente, útil para auditorias e monitoramento temporal das anomalias. Entretanto, sua aplicação isolada mostrou-se dependente das condições de contorno e da estabilidade do sinal GNSS, mantendo a inspeção convencional como etapa indispensável em áreas oclusas ou com restrições operacionais.

Como limitações, destacam-se a realização do estudo em uma única edificação, a ausência de sensores complementares, como câmeras termográficas ou multiespectrais, capazes de identificar variações térmicas e padrões de umidade não visíveis no espectro RGB, e a não aplicação de métodos automatizados de detecção baseados em aprendizado profundo, como redes neurais convolucionais (CNNs) para identificação automática de fissuras e destacamentos. Recomenda-se, para pesquisas futuras, a ampliação da amostra, a integração desses sensores e a validação comparativa entre diagnóstico visual e algoritmos de reconhecimento de padrões.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), pela infraestrutura e campo de estudo. Agradecem também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001 – pelo apoio financeiro à execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747: Inspeção predial — Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for inspection of pathological manifestations on ceramic coated facades. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 1, p. 119–137, jan. 2021.

BORDINHÃO, M.; TAMIOSSO, B.; VENQUIARUTO, S.; TEMP, A.; COSTA, F. Mapping building facades using panoramic images captured by Unmanned Aerial Vehicle (UAV). **Revista**

ALCONPAT, v. 14, n. 3, p. 318–331, 1 set. 2024.

CASSIMIRO, V. E.; ALENCAR, C. V. S. B. de; BARBOSA, G. da S.; FERREIRA, M. P.; FERREIRA, P. A. F. Aplicação de drones na construção civil para acompanhamento físico de obras. **ARACÊ**, v. 7, n. 2, p. 6517–6533, 11 fev. 2025.

COSTA, L. V. B.; TEIXEIRA, B. C.; CRUZ, F. M.; MONTEIRO, E. C. B.; SOARES, W. A.; OLVIEIRA, T. L. N. Inspeção predial com auxílio de drone e com alpinismo industrial para identificação de desplacamento cerâmico em fachadas: um estudo de caso. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, 17., 2023, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. **Anais** [...]. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: CONPAT, 2023. v. 2, p. 1–10.

EISENBEISS, H. **UAV photogrammetry**. Zurich: ETH, 2009.

FALORCA, J. F.; LANZINHA, J. C. G. Facade inspections with drones–theoretical analysis and exploratory tests. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 39, n. 2, p. 235–258, 11 mar. 2021.

FERREIRA, J. A. dos S.; CARRILHO, F. R. L.; ALCANTARA, J. A. O.; GONÇALVES, C.; STOLZ, C. M.; AMARIO, M.; HADDAD, A. N. Assessment of Staining Patterns in Facades Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Infrared Thermography. **Drones**, v. 8, n. 10, p. 542, 1 out. 2024.

IBAPE - INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. **Norma de Inspeção Predial**. São Paulo: IBAPE, 2025.

LIMA, M. B.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; RUIZ, R. D. B.; FERNANDES, B. J. T.; OLIVEIRA, S. C.; SANTOS, O. J. dos. Inspeção de manifestações patológicas em fachadas de edifícios de grande altura com VANT. **Mix Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 111–122, maio 2020.

MEIRA, G. de S.; GUEDES, J. V. F.; BIAS, E. de S. UAV-Embedded Sensors and Deep Learning for Pathology Identification in Building Façades: A Review. **Drones**, v. 8, n. 7, p. 341, 22 jul. 2024.

RUIZ, R. D. B.; LORDSLEEM, A. C.; ROCHA, J. H. A.; IRIZARRY, J. Unmanned aerial vehicles (UAV) as a tool for visual inspection of building facades in AEC+FM industry. **Construction Innovation**, v. 22, n. 4, p. 1155–1170, 28 nov. 2022.

SILVA, A. L. da; VASCONCELOS, M. E. S. G.; RODRIGUES, S. R. S.; SANTOS, T. C. P. dos; PÓVOAS, Y. V. Pathological manifestations in ventilated facades: a literature review. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUILDING PATHOLOGY AND CONSTRUCTIONS REPAIR, 20., 2024, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: CINPAR, 2024. p. 1–11.

TONDELO, P. G.; BARTH, F. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019009–e019009, 26 fev. 2019.

ZHOU, X.; TIONG, R. L. K. Defects inspection system for building facades using drones and deep learning method. **Expert Systems with Applications**, v. 298, p. 129715, 1 mar. 2026.

CAPÍTULO 69 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/ds4aag30
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/phmts212

INSPEÇÃO PREDIAL EM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL CONFORME A ABNT NBR 16747:2020 - ESTUDO DE CASO

Diane Lourdes de Assis Teixeira[1]*, Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco [2]; Antônio Neves de Carvalho Júnior[3]; Heron Freitas Resende[4]
*Autor de contato: dianelourdes.ufmg@gmail.com

[1] Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil
[2] Professor Dr, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil
[3] Professor Dr, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil
[4] Engº, MSc, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

RESUMO

A inspeção predial integra as práticas da engenharia diagnóstica e consiste na avaliação técnica das condições de conservação e desempenho de uma edificação, com foco no suporte à gestão da manutenção e na mitigação de riscos ao longo da vida útil. Nos últimos anos, essa atividade ganhou maior visibilidade em função da ocorrência de falhas associadas, em grande parte, à ausência de planos de manutenção. Este artigo tem por objetivo analisar a aplicação da inspeção predial conforme a ABNT NBR 16747:2020, por meio de estudo de caso desenvolvido em um condomínio residencial multifamiliar localizado em Belo Horizonte, com aproximadamente treze anos de uso. A metodologia compreendeu análise documental, anamnese com o gestor predial, vistorias técnicas in loco de caráter sensorial e registros fotográficos nas áreas comuns. As anomalias identificadas foram classificadas quanto à natureza e origem e hierarquizadas pela metodologia GUT (Gravidade, Urgência e Tendência). Os resultados evidenciam que a inspeção predial permitiu identificar 288 anomalias nas áreas comuns, além de constatar falhas na gestão de manutenção, como a inexistência de plano preventivo e de registros formais. A aplicação sistemática do procedimento possibilitou a classificação e priorização das ocorrências, subsidiando tecnicamente o planejamento das intervenções e a adequação às diretrizes da ABNT NBR 16747:2020.
Palavras-chave: Inspeção predial. Engenharia diagnóstica. Manutenção predial. ABNT NBR 16747:2020. Método GUT.

ABSTRACT

Building inspection is part of diagnostic engineering practices and consists of the technical evaluation of a building's conservation and performance conditions, supporting maintenance management and mitigating risks throughout its service life. In recent years, this activity has gained visibility due to building failures largely associated with the absence of maintenance plans. This article aims to analyze the application of building inspection in accordance with ABNT NBR 16747:2020 through a case study conducted in a multifamily residential condominium located in Belo Horizonte, with approximately thirteen years of use. The methodology comprised document analysis, anamnesis with the building manager, sensory-based on-site technical inspections, and photographic records in common areas. The identified anomalies were classified according to their nature and origin and prioritized using the GUT method (Gravity, Urgency, and Tendency). The results show that the building inspection identified 288 anomalies in common areas, in addition to revealing failures in maintenance management, such as the lack of a preventive plan and formal records. The systematic application of the procedure allowed for the classification and prioritization of occurrences, technically supporting the planning of interventions and compliance with the guidelines of ABNT NBR 16747:2020.
Keywords: Building inspection. Diagnostic engineering. Building maintenance. ABNT NBR 16747:2020. GUT method.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção das edificações constitui elemento essencial para a preservação do desempenho, da durabilidade e da segurança ao longo da vida útil. A degradação dos sistemas construtivos decorre de ações ambientais, uso contínuo e intervenções inadequadas, sendo agravada quando inexistem planos estruturados de manutenção, conforme discutido por Farias e Marinho (2021).

Dados do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE/SP, 2009) indicam que 66% das prováveis causas de acidentes prediais estão relacionadas a falhas de manutenção, enquanto 34% decorrem de vícios construtivos. Tais números evidenciam a relevância da inspeção predial como instrumento preventivo e de gestão.

Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo aplicar os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 16747:2020 em um condomínio residencial multifamiliar localizado em Belo Horizonte (MG), avaliando as condições de conservação das áreas comuns e analisando a efetividade da metodologia normativa como ferramenta de suporte à gestão condominial. O estudo contribui ao demonstrar a aplicabilidade prática da ABNT NBR 16747:2020 como instrumento estruturado de diagnóstico e priorização de intervenções em edificações.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A evolução dos estudos sobre inspeção predial no Brasil relaciona-se ao aumento das preocupações com a segurança, durabilidade e desempenho das edificações, intensificadas por acidentes associados a falhas de manutenção e intervenções sem acompanhamento técnico. Desde a década de 1990, o IBAPE consolidou diretrizes sobre o tema, e eventos como o colapso parcial do Edifício Liberdade (2012) e o desabamento do Edifício Andrea (2019) reforçaram a necessidade de práticas sistematizadas de inspeção e manutenção.

A inspeção predial consolidou-se no Brasil em resposta às crescentes preocupações com segurança e desempenho das edificações, especialmente diante de ocorrências associadas a falhas de manutenção. A publicação da ABNT NBR 16747:2020 padronizou critérios e procedimentos, fortalecendo sua aplicação como instrumento de gestão predial.

2.1 Engenharia Diagnóstica

A Inspeção Predial insere-se no campo da Engenharia Diagnóstica, voltada à investigação técnica das condições de desempenho, conservação e segurança das edificações. No Brasil, essa área foi consolidada a partir das contribuições de Tito Lívio Ferreira Gomide, que sistematizou métodos e fundamentos aplicáveis às atividades de vistoria, inspeção, auditoria, perícia e consultoria. Segundo Gomide et al. (2021), a Engenharia Diagnóstica estrutura-se como um processo investigativo voltado ao diagnóstico das manifestações patológicas, das condições de desempenho e das práticas de manutenção e uso, com o objetivo de subsidiar a tomada de decisão técnica. Essa atuação apoia-se em três pilares: investigação técnica, diagnóstico e finalidade da análise.

2.2 Histórico da Inspeção Predial no Brasil

A consolidação da inspeção predial no Brasil ocorreu a partir da década de 1990, impulsionada por diretrizes do IBAPE e pela evolução da Engenharia Diagnóstica. A publicação de normas como a ABNT NBR 5674, NBR 15575 e ABNT NBR 16747:2020 estabeleceu critérios técnicos para avaliação do desempenho, conservação e manutenção das edificações, sendo esta última o principal instrumento normativo para a realização de inspeções prediais.

3. METODOLOGIA

Para a compreensão da inspeção predial, foi desenvolvido um estudo de caso em um condomínio residencial multifamiliar localizado em Belo Horizonte, tendo como principal referência a ABNT NBR 16747:2020 e normas correlatas.

A inspeção seguiu as etapas recomendadas pela norma, conforme descritas a seguir:

a) Anamnese, levantamento de dados e documentos da edificação: Foi aplicado questionário aos moradores com o objetivo de levantar percepções quanto às condições da edificação.

b) Análise dos dados e documentos: Nesta etapa, deve-se proceder à análise dos documentos disponibilizados pelo condomínio, com foco no histórico de manutenção e na verificação da conformidade técnica, conforme diretrizes da ABNT, estabelecidas na ABNT NBR 16747:2020. Entretanto, constatou-se a ausência de documentação técnica essencial por parte da administração condominial. Não foram disponibilizados documentos como manual de uso, operação e manutenção da edificação, alvará de funcionamento, projetos executivos, entre outros.

c) Inspeção in loco: foram realizadas seis vistorias técnicas nos dias 11/06/2025, 14/06/2025, 20/06/2025, 24/07/2025, 02/08/2025 e 17/09/2025. A verificação contemplou exclusivamente as áreas comuns do condomínio, incluindo os sistemas de acessibilidade, cobertura, combate a incêndio, equipamentos, estrutura, instalações hidrossanitárias, instalações elétricas, lajes e pisos, vedações verticais, bem como o registro de irregularidades identificadas.

d) Classificação quanto à origem das anomalias e falhas constatadas: as ocorrências foram registradas em planilha eletrônica contendo identificação, local, descrição, sistema afetado e classificação das anomalias como endógenas, exógenas ou funcionais, conforme ABNT NBR 16747:2020 e apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação das anomalias

Tipo	Definição
Anomalia Endógena	quando há perda de desempenho decorrente de erros de projeto, especificação ou execução
Anomalia Exógena	quando há perda de desempenho causada por fatores externos à edificação, geralmente resultantes de interferências de terceiros
Anomalia Funcional	quando há perda de desempenho associada ao envelhecimento natural, desgaste e fim de vida útil

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16747:2020

e) Recomendações técnicas: para cada anomalia identificada foram elaboradas recomendações técnicas de correção.

f) Organização das recomendações técnicas por níveis de prioridade: a priorização foi realizada por meio da matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), na qual cada critério recebe pontuação de 1 a 10 e o produto dos valores define o índice de preocupação. Os eventos foram classificados em três níveis: prioridade 1 (601 a 1000 – correção imediata), prioridade 2 (401 a 600 – correção no menor prazo) e prioridade 3 (1 a 400 – correção programada), conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Critérios e níveis da matriz GUT para priorização das anomalias do estudo de caso

Grau	Gravidade	Urgência	Tendência	Peso
Total	Perdas de vidas humanas, do meio ambiente ou da própria construção.	Evento em ocorrência	Evolução imediata	10
Alta	Ferimentos em pessoas, danos ao meio ambiente ou ao edifício.	Evento prestes a ocorrer	Evolução em curto prazo	8
Média	Desconfortos, deterioração do meio ambiente ou do edifício.	Evento prognosticado para breve	Evolução em médio prazo	6
Baixa	Pequenos incômodos ou pequenos prejuízos financeiros	Evento prognosticado para adiante	Evolução em longo prazo	3
Nenhuma	Não é grave	Evento imprevisto	Não vai evoluir	1

Fonte: Adaptado de Verzola e Aragon, 2014, p. 1229

A classificação das anomalias quanto à origem seguiu os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 16747:2020, sendo consideradas:

- **Endógenas**: decorrentes de falhas de projeto, execução ou especificação de materiais;
- **Exógenas**: resultantes de ações externas, intervenções inadequadas ou agentes ambientais;
- **Funcionais**: associadas ao uso, operação ou ausência de manutenção.

Os intervalos de priorização adotados neste estudo foram definidos com base na literatura aplicada à gestão de manutenção predial (Verzola; Marchiori; Aragon, 2014), não constituindo exigência normativa da ABNT NBR 16747:2020, mas instrumento auxiliar para hierarquização técnica das intervenções. A consolidação dos dados em planilha estruturada permitiu rastreabilidade das ocorrências e consistência na aplicação dos critérios de classificação e priorização.

4. ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso tem como finalidade aplicar na prática o roteiro de inspeção predial descrita anteriormente, analisando uma edificação residencial multifamiliar em Belo Horizonte.

4.1 Caracterização da Edificação

O objeto deste estudo de caso consiste em um condomínio residencial multifamiliar, localizado no bairro São João Batista, na zona norte de Belo Horizonte/MG. A edificação está inserida em um quarteirão delimitado por vias públicas, conforme ilustrado na Figura 1, que apresenta a situação do condomínio em relação ao entorno.

Figura 1 – Mapa de Localização do Condomínio Residencial



Fonte: os autores.

O condomínio é um empreendimento residencial multifamiliar inaugurado em 2012, com 13 anos de uso. A edificação é composta por sete blocos, cada um com cinco pavimentos tipo e cobertura, abrigando quatro unidades residenciais por pavimento, totalizando 20 apartamentos por bloco. Não há instalação de elevadores nos blocos, caracterizando-se como edificações de acesso vertical exclusivamente por escadas.

As áreas comuns incluem um espaço gourmet, equipado com cozinha e churrasqueira, e um playground destinado à recreação dos moradores e não foram objeto da inspeção.

A Figura 2 apresenta a disposição dos blocos no terreno e a localização das áreas comuns.

Figura 2 – Disposição dos blocos no condomínio residencial



Fonte: os autores.

4.2 Relação de documentos entregues

Foram disponibilizados apenas projetos do sistema de combate a incêndio, sendo constatada a ausência de documentos técnicos essenciais, como plano de manutenção, laudos e registros de inspeção. Essa limitação comprometeu a verificação da conformidade e a rastreabilidade das intervenções realizadas na edificação.

4.3 Resultado do Questionário com os moradores

Foi aplicado questionário online aos moradores, obtendo-se 57 respostas válidas. Ressalta-se que as informações coletadas refletem a percepção e a avaliação visual dos usuários, não possuindo caráter técnico. A adesão ao questionário foi considerada limitada, não sendo possível identificar os fatores que influenciaram a baixa participação, de modo que os resultados devem ser interpretados como indicativos, e não necessariamente representativos da totalidade dos moradores. Constatou-se que 34 respondentes (59,6%) informaram não ter recebido documentação técnica do empreendimento nem ter conhecimento sobre sua existência.

Destaca-se que a questão aplicada visava avaliar o nível de conhecimento dos moradores quanto à documentação da edificação, não sendo possível afirmar se esses usuários correspondem aos primeiros moradores do condomínio. Tal resultado evidencia possível deficiência na disseminação e gestão das informações técnicas, em desacordo com a ABNT NBR 5674:2012.

No que se refere às manifestações patológicas, destacaram-se relatos de trincas e fissuras em pisos (27) e em paredes, tetos ou muros (25), além de infiltrações (20). Ressalta-se que tais ocorrências referem-se às áreas comuns da edificação, conforme a percepção dos respondentes. Quanto às áreas comuns, 66,7% dos participantes indicaram, com base em sua percepção, a existência de problemas

construtivos. Essa informação foi obtida por meio de pergunta direta sobre a percepção de anomalias nas áreas de uso comum, seguida da identificação dos locais afetados. Entre os principais problemas relatados, destacam-se fissuras em rampas e acessos, abatimento de caixas de passagem e deformações em pisos. Tais manifestações, embora relatadas por usuários leigos, são compatíveis com falhas construtivas ou perda de desempenho dos sistemas, devendo ser interpretadas como indicativos para investigação técnica durante a inspeção.

4.4 Levantamento dos Eventos Registrados na Inspeção Predial

Todos os 288 eventos de anomalias identificados foram avaliados e classificados por meio da matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), sendo os resultados consolidados e apresentados integralmente ao síndico para fins de gestão e priorização das intervenções. No entanto, para fins de apresentação neste artigo, optou-se pela seleção de exemplos representativos por sistema construtivo, com o objetivo de garantir uma abordagem abrangente das diferentes tipologias de anomalias identificadas, não se restringindo apenas àquelas de maior prioridade.

Observou-se deficiência na gestão de manutenção, evidenciada pela inexistência de registros formais de inspeções e de plano de manutenção preventiva estruturado. Tal condição indica não atendimento às diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 5674:2012. Os resultados reforçam a necessidade de implementação de um sistema de gestão de manutenção, com elaboração de plano preventivo e registro sistemático das inspeções, visando à conservação, ao desempenho e à segurança da edificação.

Na sequência, são apresentados os registros fotográficos de algumas anomalias, com suas respectivas classificações, prioridades e medidas saneadoras, conforme a planilha geral de eventos elaborada nesta pesquisa. As prioridades foram definidas com base na aplicação da matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), com atribuição de notas de 1 a 10 para cada critério, conforme proposto por Verzola e Aragon (2014), sendo o índice obtido pelo produto entre esses parâmetros. Os eventos foram classificados em três níveis: prioridade 1 (601 a 1000), correspondente a ações imediatas; prioridade 2 (401 a 600), para intervenções em curto prazo; e prioridade 3 (1 a 400), referente a ações programáveis, em consonância com as diretrizes da ABNT NBR 16747:2020.

Como exemplo inicial, o evento a seguir refere-se à ausência de piso tátil no passeio externo do condomínio, conforme Figura 3 e Tabela 1. Embora não se trate de uma manifestação patológica associada à deterioração de materiais, a ausência desse elemento caracteriza falha de desempenho do sistema de circulação, por não atender aos requisitos de acessibilidade e segurança dos usuários, conforme preconizado pela ABNT NBR 9050.

Dentre os 288 eventos identificados, são apresentados a seguir exemplos representativos por sistema construtivo, selecionados com o objetivo de ilustrar as principais tipologias de anomalias observadas, não se restringindo à totalidade dos casos levantados.

Figura 3 – Ausência de piso tátil condomínio



Fonte: os autores.

Tabela 1 – Ausência de piso tátil condomínio

Descrição	G	U	T	Total	Anomalia	Prioridade	Sistema
Ausência de piso tátil	8	10	10	800	Endógena	1	Acessibilidade
Correção							
Instalar piso tátil para orientar pessoas com deficiência visual conforme NBR 9050:2020.							

Fonte: os autores.

No evento a seguir, verificou-se a presença de infiltração na cobertura da área do reservatório do Bloco 01, localizada imediatamente acima da caixa d'água, conforme apresentado na Figura 4 e descrito na Tabela 2. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988), a cobertura corresponde à parte superior da edificação, responsável por protegê-la das intempéries.

Complementarmente, a ABNT NBR 15575-5:2013 define o sistema de cobertura como o conjunto de elementos dispostos no topo da construção, com as funções de assegurar a estanqueidade às águas pluviais, garantir a salubridade e contribuir para o conforto termoacústico. Nesse contexto, a ausência de calha compromete o adequado escoamento das águas pluviais, favorecendo o acúmulo de água e a ocorrência de infiltrações, caracterizando falha de desempenho do sistema de cobertura.

Figura 4 – Infiltração no telhado em cima da caixa d'água



Fonte: os autores.

Tabela 2 – Infiltração no telhado em cima da caixa d'água.

Descrição	G	U	T	Total	Anomalia	Prioridade	Sistema
Infiltração no telhado em cima da caixa d'água	8	10	8	640	Endógena	1	Cobertura
Correção							
Recomenda-se revisão completa do sistema de vedação da cobertura, incluindo reaperto e substituição de fixadores comprometidos, verificação da estanqueidade das sobreposições e eventual substituição pontual de telhas danificadas.							

Fonte: os autores

No evento a seguir, foram identificadas fissuras na contenção lateral da escada de acesso ao Bloco 01, localizada na área do playground, conforme apresentado na Figura 5 e detalhado na Tabela 3. As fissuras apresentam abertura visível e se desenvolvem ao longo do elemento de contenção, podendo estar associadas a movimentações do solo ou a esforços não previstos, indicando possível perda de desempenho do sistema.

Figura 5 – Fissuras na contenção da escada



Fonte: os autores.

Tabela 3 – Fissuras na contenção da escada

Descrição	G	U	T	Total	Anomalia	Prioridade	Sistema
Fissuras na contenção da escada	8	6	8	512	Endógena	2	Estrutura
Correção							
Fissura aparentemente não progressiva, porém, sugere-se monitorar seu comportamento por 60 dias e caso o problema esteja estabilizado, que seja feito procedimento reparo de trincas e fissuras ou que estas aberturas sejam monitoradas ao longo do tempo.							

No evento a seguir, constatou-se a presença de caixas de esgoto com manifestações patológicas no playground, caracterizadas por trincas em sua estrutura, ausência de vedação nos pontos de interface com as tubulações, falhas de impermeabilização e tampas com aberturas danificadas, conforme apresentado na Figura 6 e detalhado na Tabela 4. Tais condições indicam perda de estanqueidade do sistema, favorecendo a infiltração de efluentes no solo e o retorno de gases provenientes da rede, o que pode comprometer as condições de higiene e segurança do ambiente.

De acordo com a ABNT NBR 8160, que estabelece os requisitos para projeto, execução e funcionamento dos sistemas prediais de esgoto sanitário, as caixas de inspeção devem ser impermeabilizadas, possuir vedação adequada, tampa com fecho hermético e serem constituídas de materiais resistentes à ação do esgoto. Nesse contexto, as não conformidades observadas configuram falha de desempenho do sistema hidrossanitário, podendo ocasionar infiltrações, contaminação do solo, proliferação de agentes biológicos e exposição dos usuários a condições insalubres.

Adicionalmente, a presença de trincas e falhas de vedação pode estar associada a movimentações do solo, execução inadequada ou ausência de manutenção preventiva, evidenciando a necessidade de inspeções periódicas e intervenções corretivas para restabelecimento da estanqueidade e do desempenho do sistema.

Figura 6 – Caixas de esgoto danificadas



Fonte: os autores.

Tabela 4 – Caixas de esgoto danificadas

Descrição	G	U	T	Total	Anomalia	Prioridade	Sistema
Caixas de esgoto danificadas	8	10	10	800	Endógena	1	Instalações hidrossanitárias
Correção							
Falha de estanqueidade, favorecendo infiltrações e prejuízo ao desempenho do sistema, com risco de insalubridade. Recomenda-se o reparo interno ou substituição da caixa, recomposição do revestimento argamassado, aplicação de impermeabilizante e reparo externo para restabelecer a vedação. Deve-se revisar as demais caixas, recompor e compactar o solo ao redor e garantir o correto fechamento, com tampa adequada.							

Fonte: os autores.

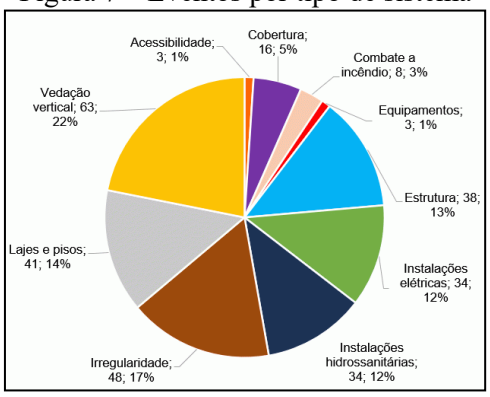
De forma complementar, os exemplos apresentados evidenciam a diversidade de manifestações patológicas identificadas, abrangendo diferentes sistemas construtivos e níveis de criticidade.

5 RESULTADOS

As manifestações patológicas identificadas concentraram-se principalmente em infiltrações, umidade, fissuração, corrosão de armaduras, destacamento de revestimentos e degradação de pinturas, com predominância em sistemas expostos às intempéries. Esse padrão é consistente com a literatura de patologia das construções, que aponta a umidade como principal agente desencadeador de processos de degradação em edificações, sobretudo na ausência de manutenção sistemática (SOUZA; RIPPER, 1998). A maior incidência de anomalias no sistema de vedação vertical, seguida por lajes/pisos e irregularidades diversas, indica que os elementos mais suscetíveis são aqueles diretamente expostos à ação ambiental e ao uso contínuo. Esse comportamento é coerente com os fundamentos da Engenharia Diagnóstica, conforme Gomide et al. (2021), que destacam a interação entre agentes agressivos, falhas construtivas e ausência de manutenção como fatores determinantes na perda de desempenho.

A predominância de anomalias associadas à umidade e à degradação de revestimentos sugere deficiência no desempenho dos sistemas de proteção superficial e, possivelmente, falhas de execução ou ausência de intervenções preventivas ao longo da vida útil. Sob a ótica da ABNT NBR 15575:2013, tais manifestações indicam não atendimento aos requisitos de estanqueidade e durabilidade, ainda que não tenham sido realizados ensaios instrumentados, conforme Figura 7.

Figura 7 – Eventos por tipo de sistema

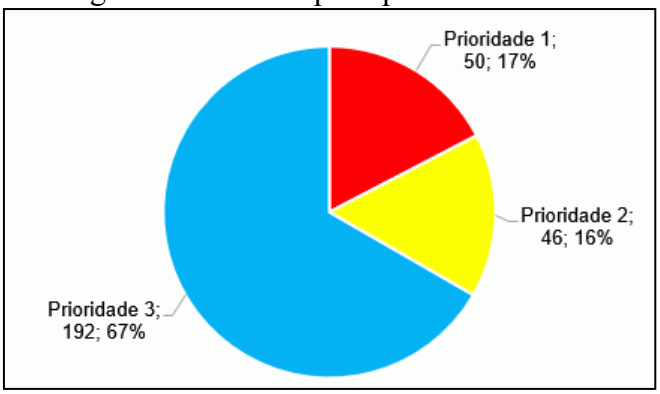


Fonte: os autores.

A hierarquização das anomalias foi realizada por meio da metodologia GUT, conforme ilustrado na Figura 8, que apresenta a distribuição percentual por nível de prioridade. As manifestações classificadas como Prioridade 1 concentraram-se, majoritariamente, nas instalações

hidrossanitárias, especialmente nas caixas de passagem. Na Prioridade 2, destacaram-se ocorrências no sistema estrutural, envolvendo armaduras expostas, trincas e processos de corrosão. Já na Prioridade 3, predominam manifestações em vedações verticais, associadas à degradação de revestimentos e escorrimentos.

Figura 8 – Eventos por tipo de Prioridade



Fonte: os autores.

A análise da natureza das anomalias revelou predominância de ocorrências endógenas, seguidas por exógenas e funcionais, vide Tabela 5. Esse resultado indica que parcela significativa das falhas pode estar associada a problemas de projeto, execução ou especificação de materiais, o que reforça a importância do controle tecnológico e da rastreabilidade das etapas construtivas. Por outro lado, a expressiva presença de anomalias funcionais evidencia a influência direta da ausência de manutenção, corroborando as diretrizes da ABNT NBR 5674:2012.

Tabela 5 – Quantidade de eventos por tipo de anomalia

Anomalia	Descrição	Quantidade	Porcentagem
Endógena	perda de desempenho decorrente das etapas de projeto e/ou execução;	140	31%
Exógena	perda de desempenho relacionada a fatores externos à edificação, provocados por terceiros	128	28%
Funcional	perda de desempenho relacionada ao envelhecimento natural e consequente término da vida útil.	20	41%
Total		**288**	

Fonte: os autores.

A inexistência de plano de manutenção e de registros formais observada no estudo configura não conformidade com a ABNT NBR 5674:2012 e compromete a gestão do ciclo de vida da edificação. Esse cenário é amplamente discutido por IBAPE (2009), que aponta a falta de manutenção como responsável pela maioria dos acidentes prediais, reforçando o papel da inspeção predial como ferramenta preventiva.

A aplicação da metodologia GUT permitiu hierarquizar tecnicamente as anomalias, evidenciando a concentração de ocorrências de maior criticidade em sistemas hidrossanitários e estruturais. Esse resultado é coerente, uma vez que falhas nesses sistemas apresentam maior potencial de impacto à segurança, salubridade e durabilidade.

No entanto, destaca-se que a atribuição dos índices GUT envolve certo grau de subjetividade, dependendo da experiência do avaliador, o que constitui limitação inerente ao método e deve ser considerado na interpretação dos resultados.

A predominância de anomalias classificadas como Prioridade 3 indica que grande parte das manifestações ainda se encontra em estágio inicial ou moderado de degradação, o que reforça o caráter oportuno da inspeção predial como instrumento de diagnóstico preventivo. Por outro lado, a presença de ocorrências classificadas como Prioridade 1 evidencia a existência de situações que demandam intervenção imediata, especialmente associadas a riscos de infiltração, insalubridade e perda de desempenho funcional. Os resultados obtidos demonstram aderência à proposta da ABNT NBR 16747:2020, evidenciando que a inspeção predial, mesmo baseada predominantemente em análise sensorial, é capaz de identificar, classificar e priorizar anomalias de forma sistematizada. Além disso, o estudo confirma que a inspeção predial não deve ser compreendida apenas como ferramenta de diagnóstico pontual, mas como instrumento integrante da gestão de manutenção.

Sob uma perspectiva mais ampla, os resultados obtidos indicam que a inspeção predial, quando conduzida de forma sistematizada, permite não apenas o levantamento de anomalias, mas também a compreensão dos mecanismos de degradação atuantes na edificação. A predominância de manifestações associadas à umidade e à ausência de manutenção reforça a necessidade de integração entre diagnóstico técnico e gestão predial, evidenciando que a simples identificação de falhas não é suficiente sem a implementação de estratégias preventivas. Além disso, observa-se que a aplicação combinada da ABNT NBR 16747:2020 com ferramentas de priorização, como a matriz GUT, contribui para a tomada de decisão baseada em risco, permitindo direcionar recursos de forma mais eficiente. Nesse sentido, o estudo evidencia que a inspeção predial pode atuar como instrumento estruturante da gestão da manutenção, especialmente em edificações que não possuem histórico organizado de intervenções. Os resultados também sugerem que edificações com tempo de uso relativamente recente podem apresentar degradação significativa quando não submetidas a planos de manutenção adequados, o que reforça a importância da adoção precoce de práticas de gestão, independentemente da idade da construção.

De forma integrada, os achados evidenciam que as manifestações patológicas observadas não decorrem de um único fator, mas da combinação entre falhas construtivas, exposição ambiental e, principalmente, ausência de manutenção sistemática. Esse entendimento reforça a necessidade de adoção de um sistema estruturado de gestão de manutenção, conforme preconizado pela ABNT NBR 5674:2012, aliado à realização periódica de inspeções prediais, conforme a ABNT NBR 16747:2020, como estratégia para mitigação de riscos, racionalização de recursos e prolongamento da vida útil da edificação.

6 CONCLUSÃO

A aplicação sistematizada da ABNT NBR 16747:2020 permitiu identificar 288 eventos de anomalias nas áreas comuns do condomínio estudado, evidenciando predominância de manifestações associadas à vedação vertical e a sistemas sujeitos à ação da umidade. A utilização da matriz GUT como ferramenta complementar mostrou-se eficaz para hierarquização técnica das intervenções, contribuindo para a racionalização de recursos e para o planejamento estruturado das ações corretivas. Os resultados reforçam que a ausência de plano de manutenção formal, conforme preconiza a ABNT NBR 5674:2012, constitui fator determinante para a recorrência de manifestações patológicas mesmo em edificações com tempo de uso relativamente recente.

Como limitações, destacam-se a predominância de inspeção sensorial, a ausência de ensaios instrumentados e a restrição da análise às áreas comuns. Ainda assim, o estudo demonstra a aplicabilidade prática da norma como instrumento de gestão predial e evidencia seu potencial como ferramenta de diagnóstico preventivo capaz de reduzir a progressão de falhas e prolongar a vida útil dos sistemas construtivos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5674:2012 – Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575:2013 – Edifícios habitacionais – Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16280:2014 – Reforma em edificações – Condições de desempenho.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9050:2020 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16747:2020 – Manutenção de edificações – Inspeção predial.** Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. **Projeto de Lei n.º 6.014, de 2013.** Propõe a realização de vistorias periódicas em edificações públicas e privadas. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1293662&filename=Avulso%20PL%206014/2013. Acesso em: 1 nov. 2025.

FARIAS, Lucas Menezes de; MARINHO, Jefferson Luiz Alves. **Inspeção predial em edificações com manifestações patológicas: anamnese, diagnóstico, prognóstico e responsabilidades. In: XVII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação das Construções,** Fortaleza, 3–5 jun. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.4322/CINPAR.2021.132. Acesso em: 5 set. 2025.

GOMIDE, Tito Lívio Ferreira; DELLA FLORA, Stella Marys; BRAGA, Antônio Guilherme Menezes; GULLO, Marco Antônio; FAGUNDES NETO, Jerônimo Cabral Pereira. **Manual de Engenharia Diagnóstica: Desempenho, Manifestações Patológicas e Perícias na Construção Civil.** 2. ed. São Paulo: Leud, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA (IBAPE). **XV Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias – XV COPREAP**. São Paulo, 2009.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** 2. ed. São Paulo: PINI, 1998.

VERZOLA, Simone Nunes; MARCHIORI, Fernanda Fernandes; ARAGON, José Octávio. **Proposta de lista de verificação para inspeção predial x urgência das manutenções.** In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014, Maceió, AL.

CAPÍTULO 70 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/jtdd7w03
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/jhq3aw97

ANÁLISE DE INCONFORMIDADES TÉCNICAS PARA RECEBIMENTO DE EMPREENDIMENTO NOVO: ESTUDO DE CASO EM FORTALEZA-CE

Allefy Teles Sampaio[1]*, Everson Albuquerque[2]; Rômulo da Silva[3]; Willames de Albuquerque[4] e Eliana Barreto[5]
*Autor de contato: ats1@poli.br

[1] Engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[2] Engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[3] Engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[4] Engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[5] Engenharia Civil/ICANTECH, Universidade de Pernambuco/Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil

RESUMO

Este estudo analisa as inconformidades técnicas identificadas nas áreas comuns de um empreendimento residencial novo em formato de torre, localizado em Fortaleza-CE, durante a etapa de recebimento. A metodologia adotada consistiu em inspeção visual sistemática, registros fotográficos e medições pontuais com trena, abrangendo todos os espaços de uso coletivo do edifício. Foram identificadas quatro principais categorias de anomalias: trincas em alvenarias das áreas comuns, falhas no sistema de impermeabilização com desplacamento da proteção mecânica e exposição da manta, condensação na laje superior da cisterna evidenciada por gotículas de água, e variação significativa nas dimensões das demarcações das vagas de garagem, oscilando entre 1,62m e 2,33m de largura. Os resultados evidenciam deficiências nos processos de controle de qualidade durante a execução da obra, comprometendo a funcionalidade, durabilidade e segurança dos espaços de uso coletivo. O estudo demonstra a importância fundamental da vistoria técnica para recebimento de áreas comuns como ferramenta essencial de proteção aos interesses dos futuros moradores, permitindo a identificação precoce de problemas e sua correção pela construtora antes da entrega definitiva do empreendimento.

Palavras-chave: *vistoria técnica; áreas comuns; inconformidades; controle de qualidade; recebimento de obras.*

ABSTRACT

This study analyzes the technical non-conformities identified in the common areas of a new residential tower development, located in Fortaleza-CE, during the handover stage. The adopted methodology consisted of systematic visual inspection, photographic records and point measurements with measuring tape, covering all collective use spaces of the building. Four main categories of anomalies were identified: cracks in masonry walls of common areas, failures in the waterproofing system with detachment of mechanical protection and membrane exposure, condensation on the upper slab of the cistern evidenced by water droplets, and significant variation in the dimensions of parking space demarcations, ranging between 1.62m and 2.33m in width. The results show deficiencies in quality control processes during work execution, compromising the functionality, durability and safety of collective use spaces. The study demonstrates the fundamental importance of technical inspection for receiving common areas as an essential tool for protecting the interests of future residents, allowing early identification of problems and their correction by the construction company before the definitive delivery of the development.

Keywords: *technical inspection; common areas; non-conformities; quality control; construction handover.*

1. INTRODUÇÃO

A qualidade e conformidade de novas edificações são aspectos cruciais no setor da construção civil, impactando diretamente a satisfação dos usuários, a segurança patrimonial e a imagem das construtoras(Gomide, 2021). O momento do recebimento de um empreendimento novo representa uma etapa fundamental para a verificação dessas condições, servindo como um controle de qualidade final antes da entrega aos proprietários. É neste estágio que as inconformidades técnicas – desvios em relação a projetos, normas técnicas e padrões de qualidade – podem ser identificadas e corrigidas, prevenindo problemas futuros e litígios (Pinto, 2015).

Empreendimentos residenciais, particularmente as torres, caracterizam-se pela complexidade de seus sistemas construtivos e pela multiplicidade de espaços de uso coletivo. As áreas comuns desses edifícios, como *hall* de entrada, salões de festas, academias, piscinas, garagens e jardins, são essenciais para a qualidade de vida e a valorização do imóvel (Caporrino, 2018). São projetadas para atender a muitos pessoas e, por isso, exigem um alto rigor em sua execução e acabamento. Inconformidades nessas áreas podem gerar não apenas desconforto e prejuízos estéticos, mas também riscos à segurança, aumento nos custos de manutenção e desvalorização do patrimônio.

A cidade de Fortaleza, Ceará, tem vivenciado um crescimento imobiliário significativo nas últimas décadas, com a ascensão de numerosos empreendimentos residenciais em torre. Esse dinamismo do mercado, embora positivo para a economia, acende um alerta para a necessidade de garantir que a celeridade das obras não comprometa a qualidade final dos produtos entregues (Ramos, 2014). O clima específico da região, com alta umidade e salinidade em áreas próximas ao litoral, por exemplo, pode intensificar os efeitos de certas inconformidades construtivas, tornando a análise técnica ainda mais pertinente.

O objetivo deste trabalho é analisar as inconformidades técnicas encontradas nas áreas comuns de um empreendimento residencial novo em formato de torre, localizado na cidade de Fortaleza-CE,

durante a etapa de recebimento, identificando e classificando os tipos mais frequentes, discutindo suas possíveis causas e consequências, e propondo medidas corretivas e preventivas.

A relevância deste estudo reside em sua contribuição para a melhoria dos processos de controle de qualidade na construção civil, apresentando casos práticos construtoras, incorporadoras, gestores de condomínios e futuros proprietários. Ao detalhar um estudo de caso real, busca-se fornecer dados que possam embasar a tomada de decisões e aprimorar as práticas do setor.

2. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza exploratória e descritiva, adotando a abordagem de estudo de caso para a análise de inconformidades técnicas em um empreendimento residencial novo em formato de torre, localizado na cidade de Fortaleza-CE. A investigação concentrou-se exclusivamente nas áreas comuns do edifício, essenciais para a funcionalidade e valorização do condomínio.

O objeto de estudo foi um empreendimento residencial multifamiliar de torre única, entregue recentemente, cujas áreas comuns foram submetidas ao processo de recebimento. A seleção deste empreendimento específico permitiu uma análise das condições técnicas em um contexto real do mercado imobiliário de Fortaleza.

A coleta de dados foi realizada por meio de visitas de campo para a execução de inspeção visual nas áreas comuns do empreendimento. As inspeções foram sistemáticas e abrangentes, cobrindo todas as tipologias de espaços de uso comum, incluindo, mas não se limitando a: salão de festas, academia, piscina e entorno, áreas de convivência, *hall* social e de serviço, corredores, garagens, e sistemas de circulação vertical.

Durante as vistorias, as inconformidades técnicas identificadas foram documentadas através de registros fotográficos. As imagens capturadas servem como evidência visual das anomalias e falhas encontradas. Para auxiliar na caracterização e dimensionamento de algumas inconformidades, utilizou-se uma trena para medições pontuais, quando necessário.

Após a fase de campo, os registros fotográficos e as observações coletadas foram compilados e analisados. As inconformidades foram categorizadas, localização específica dentro das áreas comuns. A análise dos dados visou aprofundar a compreensão sobre os desafios de qualidade na entrega de empreendimentos residenciais novos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a inspeção visual realizada nas áreas comuns do empreendimento residencial, foram identificadas três principais categorias de inconformidades técnicas que comprometem a qualidade e funcionalidade dos espaços de uso coletivo. Os resultados obtidos revelam problemas recorrentes na construção civil brasileira, evidenciando a necessidade de maior rigor nos processos de controle de qualidade durante a execução das obras.

Quadro 1 – Anomalia em parede de alvenaria

Registro fotográfico	Descrição de anomalias
	**Localização:** Paredes das áreas comuns
	Características: Presença de trincas em elementos de alvenaria, com padrões variados de fissuração. As fissuras comprometem a integridade estética e funcional das vedações.
	Possíveis causas: Movimentação térmica, retração do material, deficiência na execução da alvenaria ou interface inadequada entre diferentes materiais.
	Implicações: Comprometimento estético, possível infiltração de água, redução da durabilidade do sistema construtivo e necessidade de reparos breves.

Fonte: os autores.

As trincas identificadas nas alvenarias das áreas comuns representam uma das manifestações patológicas mais frequentes em edificações novas. Segundo Silva et al. (2019), essas anomalias podem estar relacionadas a diversos fatores, desde problemas de projeto até falhas executivas. A ocorrência de fissuração em alvenarias de vedação é particularmente preocupante em áreas comuns, pois além do aspecto estético, pode indicar problemas estruturais mais graves ou deficiências no processo construtivo.

A presença dessas trincas em um empreendimento novo sugere possíveis falhas no controle de qualidade durante a execução, como a não observância dos prazos de cura adequados, utilização de materiais com características incompatíveis ou execução inadequada das interfaces entre diferentes elementos construtivos. É fundamental que essas anomalias sejam corrigidas antes da entrega definitiva do empreendimento, evitando futuros problemas de infiltração e comprometimento da durabilidade da edificação.

Quadro 2 – Desplacamento de proteção mecânica

Registro fotográfico	Descrição de anomalias
	**Localização:** Laje de cobertura
	Características: Desplacamento da proteção mecânica do sistema de impermeabilização, resultando na exposição direta da manta impermeabilizante às intempéries.
	Possíveis causas: Falha na aderência entre a proteção mecânica e a manta, execução inadequada, movimentação térmica ou deficiência no projeto do sistema.
	Implicações: Exposição da manta às intempéries, alto risco de perfuração e comprometimento da estanqueidade, podendo resultar em infiltrações graves e danos estruturais.

Fonte: os autores.

O desplacamento da proteção mecânica do sistema de impermeabilização constitui uma falha grave que compromete significativamente a eficácia do sistema de estanqueidade. Conforme destacado por Righi (2009), a proteção mecânica é elemento fundamental para garantir a integridade e durabilidade das mantas impermeabilizantes, protegendo-as contra danos mecânicos, ação de intempéries e tráfego de pessoas.

A exposição da manta impermeabilizante representa um risco iminente de falha do sistema, uma vez que esses materiais não são projetados para resistir diretamente às solicitações mecânicas e às variações climáticas. Em um clima como o de Fortaleza, caracterizado por alta incidência solar e variações térmicas significativas, a degradação da manta exposta pode ocorrer rapidamente, comprometendo toda a eficácia do sistema de impermeabilização (Melo, 2026).

Esta anomalia evidencia possíveis deficiências no processo executivo, como preparação inadequada do substrato, aplicação incorreta do material de proteção ou especificação inadequada dos materiais utilizados. Também é possível facilmente identificar que a aspersão de areia grossa sobre a manta antes do chapisco não foi realizada. A correção imediata desta falha é essencial para evitar infiltrações que podem causar danos estruturais graves e comprometer a habitabilidade das unidades.

Quadro 3 – Condensação em laje superior de cisterna

Registro Fotográfico	Descrição de anomalias
	**Localização:** Laje superior da cisterna
	Características: Presença de condensação evidenciada por gotículas de água na superfície inferior da laje, formando uma sequência contínua de pontos de umidade que comprometem o ambiente interno da cisterna.
	Possíveis causas: Diferença significativa de temperatura entre o ambiente interno da cisterna e o externo, deficiência no isolamento térmico da laje, problemas de ventilação ou especificação inadequada do sistema construtivo.
	Implicações: Formação de ambiente propício ao desenvolvimento de fungos e bactérias, comprometimento da qualidade da água armazenada, possível deterioração dos materiais adjacentes e riscos à saúde dos usuários.

Fonte: os autores.

A condensação observada na laje superior da cisterna representa uma anomalia particularmente crítica, pois afeta diretamente a qualidade da água destinada ao consumo humano. Este fenômeno ocorre devido ao gradiente térmico entre a superfície fria da laje em contato com a água armazenada e o ar mais quente do ambiente externo, resultando na condensação do vapor d'água presente no ar.

Segundo as diretrizes técnicas para projeto e construção de reservatórios (ABNT NBR 12217:1994), é fundamental que os sistemas de armazenamento de água potável sejam projetados e executados de forma a evitar a contaminação do líquido armazenado. A presença de condensação cria condições ideais para o desenvolvimento de microrganismos patogênicos, comprometendo a potabilidade da água e representando riscos à saúde dos moradores.

Esta anomalia evidencia possíveis deficiências no projeto térmico da cisterna, como ausência de isolamento térmico adequado na laje de cobertura ou ventilação insuficiente do ambiente. Em regiões de clima quente como Fortaleza, onde as variações térmicas são acentuadas, é essencial que os reservatórios de água sejam adequadamente isolados termicamente para evitar esse tipo de problema.

Quadro 4 – Variação de largura das vagas

Registro Fotográfico	Descrição de anomalias
	**Localização:** Garagem do empreendimento
	Características: Variação significativa na largura das demarcações das vagas de estacionamento, com dimensões oscilando entre 1,62m e 2,33m de largura, evidenciando falta de padronização na execução.
	Possíveis causas: Falha no projeto de demarcação, execução inadequada da sinalização horizontal, ausência de controle dimensional durante a marcação das vagas ou interpretação incorreta do projeto.
	Implicações: Desconforto dos usuários, dificuldades de manobra, possíveis conflitos entre condôminos e comprometimento da funcionalidade do estacionamento.

Fonte: os autores.

A variação dimensional observada nas demarcações das vagas de garagem representa uma inconformidade que compromete significativamente a funcionalidade e a equidade no uso do estacionamento. A diferença de 71 centímetros entre a menor (1,62m) e a maior (2,33m) largura das vagas é considerável e inaceitável do ponto de vista técnico e de satisfação do usuário.

Segundo a NBR 12050:2013, que trata da acessibilidade em edificações, e considerando as boas práticas de projeto de estacionamentos, as vagas devem apresentar dimensões padronizadas para garantir o conforto e a segurança dos usuários. A falta de uniformidade nas dimensões pode gerar situações de desconforto, especialmente para proprietários de veículos de maior porte que sejam contemplados com vagas de menor dimensão.

Esta anomalia evidencia falhas no controle de qualidade durante a execução da sinalização horizontal do estacionamento, sugerindo ausência de verificação dimensional adequada ou interpretação incorreta das especificações de projeto. Em projeto, as medidas são de 2,50 x 5,00 metros, de forma padronizada a todas as vagas. A correção desta inconformidade é fundamental para garantir a funcionalidade adequada do estacionamento e evitar futuros conflitos entre os condôminos. A remarcação das vagas com dimensões padronizadas deve ser exigida antes da entrega definitiva do empreendimento, assegurando que todos os proprietários tenham acesso a vagas com dimensões adequadas e uniformes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das inconformidades técnicas identificadas nas áreas comuns do empreendimento residencial em Fortaleza-CE revelou quatro categorias principais de anomalias: trincas em alvenarias, falhas no sistema de impermeabilização com exposição da manta, condensação na laje superior da cisterna e variação significativa nas dimensões das demarcações das vagas de garagem. Estas inconformidades evidenciam deficiências nos processos de controle de qualidade durante a execução da obra e demonstram a importância fundamental da vistoria técnica para recebimento de áreas comuns antes da entrega definitiva do empreendimento. A identificação precoce desses problemas permite sua correção pela construtora, evitando que se tornem responsabilidade do condomínio e dos proprietários, além de prevenir custos adicionais de manutenção, conflitos entre condôminos e riscos à segurança dos usuários. A vistoria de recebimento constitui-se, portanto, como uma ferramenta essencial de proteção aos interesses dos futuros moradores, garantindo que os espaços de uso coletivo sejam entregues em conformidade com os padrões técnicos e de qualidade esperados, devendo ser considerada uma prática obrigatória na entrega de empreendimentos residenciais como a última oportunidade de assegurar a qualidade, funcionalidade e durabilidade das áreas comuns.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12217**: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.

CAPORRINO, Cristiana Furlan. **Patologias em alvenarias**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. 96p

GOMIDE, Tito Lívio Ferreira. **Manual de Engenharia Diagnóstica - Desempenho, Manifestações Patológicas e Perícias na Construção Civil**. São Paulo: PINI, 2021

RAMOS, Verônica Maria Braga Jacó. **Gestão de desempenho por competências e o desenvolvimento organizacional: um estudo em empresas do setor imobiliário de Fortaleza/CE**. 2014. 85 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Mestrado Profissional em Administração e Controladoria, Fortaleza-CE, 2014.

RIGHI, G. V. **Estudo experimental de argamassa de cimento Portland para injeção em elementos de concreto armado fissurados**. 2009. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MELO, J. R. D. de, & Barcellos, D. S. F. de. (2026). Impermeabilização pelo sistema de emulsão asfáltica e sua importância. **Revista Brasileira De Negócios E Desenvolvimento Regional**, 12(1), e145. https://doi.org/10.23900/rbndr.v12n1-002

PINTO, C. **Direito na construção civil : qualidade, desempenho, normalização, garantias e responsabilidades : comentários à norma de desempenho em capítulo especial: NBR 15575-1:2013 aspectos jurídicos**. São Paulo, Sp: Editora Pini, 2015.

SILVA, A. F.; SANTOS, M. R.; OLIVEIRA, J. C. **Manifestações patológicas em alvenarias de vedação: análise de causas e propostas de soluções**. Revista Brasileira de Engenharia Civil, v. 16, n. 3, p. 45-62, 2019.

CAPÍTULO 71 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/ytza3v77
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/dx0x1971

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E REQUISITOS DE DESEMPENHO EM UNIDADE HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO DE CASO

Maria Eduarda da Silva Dembogurski[1]*, Daniel Thomaz Farina[1]; José Maria de Moura Júnior[1], Angela Borges Masuero[1] e Denise Dal Molin[1]
*mariae.dembogurski@gmail.com

[1] Laboratório de materiais e ambiente construído, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

O presente artigo analisa o desempenho de uma unidade habitacional de interesse social, com foco na recorrência de manifestações patológicas associadas à umidade. Realizou-se uma inspeção técnica visual in loco, complementada por análise documental e avaliação normativa à luz da ABNT NBR 15575. Foram identificadas infiltrações em paredes de fachada, presença persistente de mofo, descolamento de revestimentos cerâmicos, degradação precoce de acabamentos e fissuras em elementos estruturais aparentes. Considerando que a edificação apresentava aproximadamente três anos de uso no momento da vistoria, as manifestações patológicas observadas mostram-se incompatíveis com os prazos mínimos de Vida Útil de Projeto (VUP) estabelecidos pela norma. Os resultados indicam comprometimento dos requisitos de estanqueidade, durabilidade e habitabilidade, evidenciando a importância da avaliação técnica fundamentada em critérios de desempenho para identificação precoce de falhas construtivas.
Palavras-chave: desempenho de edificações; habitação de interesse social; umidade; vida útil de projeto; NBR 15575.

ABSTRACT

This paper analyzes the performance of a social housing unit, focusing on the recurrence of pathological manifestations associated with water ingress. An on-site visual technical inspection was carried out, complemented by document analysis and normative assessment in accordance with ABNT NBR 15575. The main findings included external water infiltration, persistent mold growth, detachment of ceramic coatings, premature degradation of finishes, and cracking in exposed structural elements. Considering that the building had approximately three years of service life at the time of inspection, the observed pathological manifestations are incompatible with the minimum Service Life requirements established by the standard.The results indicate non-compliance with watertightness, durability, and habitability requirements, highlighting the importance of performance-based technical assessment for the early identification of construction deficiencies.
Keywords: building performance; social housing; water infiltration; service life; NBR 15575.

1. INSTRUÇÕES GERAIS

As manifestações patológicas podem ser entendidas como anomalias que podem prejudicar o desempenho de uma construção, ocasionadas por diversos fatores, entre eles: deficiência de projeto, erros de execução, má qualidade dos materiais ou o emprego inadequado dos mesmos, mudança de finalidade construtiva, acidentes inesperados e/ou manutenção imprópria (Ferreira; Lobão, 2018; Gonçalves, 2015).

A fase de concepção do projeto exige elevado controle de qualidade, cautela e concentração desde os estudos preliminares até o projeto executivo, a fim de mitigar falhas (Berti; Silva Jr.; Akasaki, 2019), uma vez que as decisões tomadas nessa etapa impactam diretamente o custo, a celeridade e a qualidade final da construção (Fioriti, 2016). Durante a execução da estrutura, a realização de vistorias é indispensável para assegurar a conformidade com as especificações do projeto e atestar a procedência dos materiais aplicados, prevenindo o uso de insumos de baixa qualidade (Erat *et al.*, 2016). A aplicação de materiais e componentes de alta qualidade, em estrita conformidade com as normas técnicas, é fundamental para mitigar o surgimento de manifestações patológicas (Ferreira; Oliveira, 2021), contudo, mesmo sob rigoroso controle de execução, falhas residuais podem ocorrer e ser detectadas somente após a entrega da obra (Brandstetter; Chagas, 2018).

Todas as edificações, independentemente de sua idade, apresentam ou apresentarão algum tipo de problema, caracterizada por danos, falhas ou anomalias que podem ocorrer em qualquer sistema construtivo ao longo de sua vida útil (Amaral *et al.*, 2020). Após o aparecimento de manifestações patológicas, a construção pode demonstrar desempenho insatisfatório, encurtando assim a sua vida útil, comprometendo assim a sua durabilidade (Bellido *et al.*, 2023), além de quem alguns problemas podem afetar negativamente a saúde do usuário (Bauer *et al.*, 2020). Portanto, é importante compreender a origem, causa de mecanismo, assim como os métodos de prevenção e recuperação, pois esses fatores podem interferir diretamente na durabilidade e na segurança estrutural (Lima *et al.*, 2023).

Os danos decorrentes da ausência de cuidados adequados durante e após a construção podem ser prevenidos por meio da adoção de planos preventivos estruturados. Uma abordagem tecnicamente fundamentada não se limita à correção dos danos já instalados, mas também atua de forma preventiva, contribuindo para a durabilidade, o desempenho e a segurança da edificação ao longo de sua vida útil (Farina *et al.*, 2025). A implementação de um programa de inspeção predial é fundamental para subsidiar o plano de manutenção, cuja finalidade é assegurar o desempenho satisfatório da edificação, bem como garantir condições adequadas de segurança e conforto aos usuários (Cirino *et al.*, 2020).

Para mitigar o surgimento de manifestações patológicas, torna-se imprescindível a realização de um estudo estrutural detalhado, fundamentado em sólidos conhecimentos teóricos e técnicos que permitam diagnosticar o fenômeno com precisão e implementar soluções eficientes (Tutikian; Pacheco, 2013; Lins et al., 2021). Nesse contexto, a correta identificação da origem do dano é determinante tanto para a eficácia do reparo quanto para o embasamento de resoluções em esferas judiciais (Berti; Silva Jr.; Akasaki, 2019).

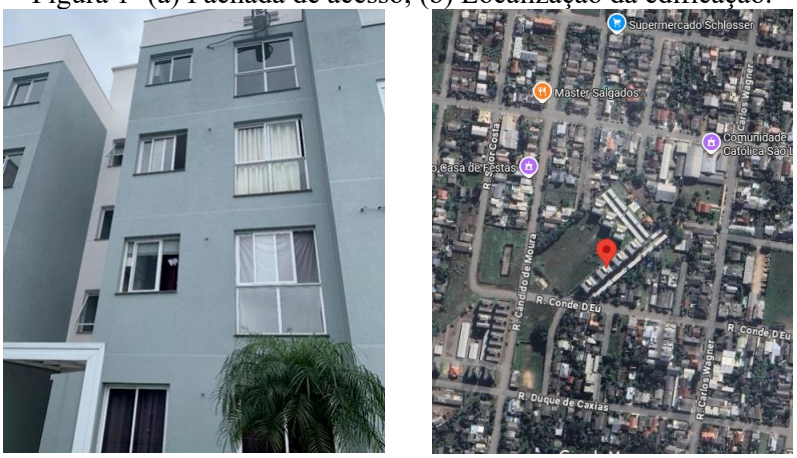
Diante disso, o objetivo deste trabalho é apresentar uma análise e diagnóstico das manifestações patológicas encontradas em uma edificação residencial na cidade de Venâncio Aires, buscando auxiliar no plano de manutenção para o objeto de estudo.

2. DESENVOLVIMENTO DO TEMA

2.1 Caracterização do objeto de estudo: histórico, tipologia e cronologia

O objeto de estudo consiste em um empreendimento de Habitação de Interesse Social (HIS) localizado no município de Venâncio Aires, interior do estado do Rio Grande do Sul, concebido e executado sob as diretrizes de programas habitacionais governamentais. A Figura 1 apresenta a fachada principal da edificação (Figura 1a), bem como a sua inserção urbana e condições do entorno imediato (Figura 1b).

Figura 1- (a) Fachada de acesso; (b) Localização da edificação.



(a) (b)

Fonte: os autores.

O conjunto é formado por blocos de alvenaria com quatro pavimentos, abrigando unidades habitacionais compactas (aproximadamente 49 m²), compostas por ambientes de permanência prolongada (quartos e sala) e áreas molháveis (cozinha, área de serviço e banheiro). A caracterização da edificação fundamenta-se em um sistema construtivo convencional, estruturado em concreto armado com vedações em alvenaria. A cobertura é executada em telhas de fibrocimento e as esquadrias são em madeira e ferro. Internamente, os acabamentos consistem em reboco de gesso e pisos cerâmicos, contrastando com a fachada externa revestida em argamassa e pintura. A identificação desse padrão construtivo popular é fundamental para a análise, pois estabelece o perfil técnico do projeto, o qual, por visar a otimização de custos iniciais, demanda um rigor ainda maior na especificação de materiais e na execução para garantir a durabilidade esperada.

2.2 A norma de desempenho e o custo global em habitações de interesse social

A Norma de Desempenho ABNT NBR 15575-1:2025 atua como o principal balizador técnico e legal para a avaliação da qualidade das edificações habitacionais. Esta norma introduziu o conceito de VUP, estipulando prazos mínimos de durabilidade para os sistemas construtivos e exigindo o cumprimento de critérios rigorosos de habitabilidade, estanqueidade e saúde.
Em empreendimentos de HIS, o atendimento a esses requisitos assume um papel fundamental para garantir as condições mínimas de salubridade e segurança estrutural aos usuários. Consequentemente, a aplicação desses parâmetros normativos permite avaliar de forma clara se a degradação de um imóvel decorre do desgaste natural esperado ou se configura uma falha precoce de concepção e execução.

A dinâmica financeira desses empreendimentos exige uma análise crítica que contraste o custo inicial de construção com o custo global da obra. Em projetos de HIS, a busca incessante pela redução do orçamento inicial frequentemente induz à adoção de materiais de menor qualidade, bem como reduz drasticamente a capacidade do edifício de resistir às intempéries ao longo do tempo. Essa estratégia cria uma falsa eficiência, pois culmina na transferência de um passivo financeiro oneroso, referente a manutenções corretivas precoces, para o usuário final.

A observância desses aspectos teóricos com o contexto prático é o eixo central para a investigação das manifestações patológicas do estudo de caso. Quando uma edificação apresenta avarias, como as que serão evidenciadas posteriormente, ocorre um desvio grave das premissas de projeto estabelecidas pela NBR 15575. A constatação de que os sistemas construtivos não foram capazes de suportar as cargas ambientais ordinárias nos primeiros anos de operação atesta a existência de uma anomalia significativa, superando a hipótese de um mero problema de conservação. A compreensão desse cenário fundamenta a base necessária para a análise dos mecanismos de degradação e incompatibilidade de materiais, que serão investigados.

2.3 Mecanismos de degradação endógena e incompatibilidade de materiais

Um dos principais agentes deflagradores de manifestações patológicas na construção civil é a água. No presente estudo, uma das situações observadas, e que será destacada na etapa de resultados, é a ausência de vedação adequada na interface entre as esquadrias de fachada e a alvenaria, uma situação que permitiu a infiltração de águas pluviais para o interior das unidades habitacionais. Essa falha de execução compromete a proteção primária do edifício, criando rotas de passagem de umidade para os ambientes internos, situação que afeta o desempenho projetado, servindo como catalisador para a degradação acelerada dos revestimentos e comprometendo a estanqueidade da estrutura.

Retomando o critério de qualidade dos materiais, tem-se que o impacto dessa umidade infiltrada é severamente agravado pela especificação inadequada dos materiais de acabamento. A substituição do reboco convencional de argamassa por revestimento em gesso nas faces internas das paredes de fachada e em áreas úmidas introduziu um material altamente higroscópico em zonas de risco. O gesso, ao entrar em contacto contínuo com a água, sofre degradação, resultando em estufamento, perda de aderência da pintura e na proliferação de microrganismos, como fungos e bolor. Isso não apenas destrói a integridade física e estética do ambiente, mas viola frontalmente os requisitos de saúde e higiene, tornando o espaço insalubre para os ocupantes.

Em suma, a vulnerabilidade do sistema construtivo estende-se aos revestimentos de piso e parede das áreas molháveis. A execução falha no assentamento das placas cerâmicas, caracterizada pelo preenchimento incompleto do tardoz e por deficiências no rejuntamento, permite a percolação de água diretamente para o substrato. Esse processo resulta na alteração de coloração das peças e, assim, no descolamento por perda de aderência. A soma destes mecanismos de degradação endógena corrobora a tese de falha sistémica dos materiais face às exigências operacionais normais.

3. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como pesquisa aplicada, de natureza descritiva e abordagem qualitativa, desenvolvida por meio de estudo de caso único em unidade habitacional integrante de empreendimento de interesse social concluído em 2018.

A investigação fundamentou-se em inspeção técnica visual realizada in loco, complementada por análise documental e levantamento do histórico de intervenções realizadas pela construtora. O procedimento metodológico adotado baseou-se nos preceitos da ABNT NBR 13752 (Perícias de

engenharia na construção civil) e na ABNT NBR 15575, especialmente no que se refere aos requisitos de estanqueidade, durabilidade, manutenabilidade e saúde dos usuários.
A avaliação contemplou os sistemas de vedação vertical interna e externa, revestimentos, elementos estruturais aparentes, esquadrias e sistemas de impermeabilização. As manifestações patológicas identificadas foram analisadas quanto à sua sintomatologia, etiologia provável e impacto no desempenho global da edificação.
Não foram realizados ensaios destrutivos ou laboratoriais, restringindo-se a investigação a métodos não invasivos compatíveis com inspeção visual pericial. A análise dos resultados considerou a conformidade com os requisitos mínimos de Vida Útil de Projeto (VUP) estabelecidos na ABNT NBR 15575.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir da inspeção técnica evidenciam a presença recorrente de manifestações patológicas associadas predominantemente à umidade, com impactos diretos nos requisitos de estanqueidade, durabilidade, habitabilidade e desempenho estrutural da unidade habitacional. A análise a seguir está organizada conforme os sistemas e exigências estabelecidos na ABNT NBR 15575.

4.1 Estanqueidade e infiltrações

A unidade analisada apresenta histórico recorrente de infiltrações desde sua entrega, ocorrida em outubro de 2018. Conforme relatos dos usuários, nas primeiras semanas de ocupação já se verificava a entrada significativa de água pelas esquadrias, evidenciando falhas iniciais no sistema de vedação das janelas e possível deficiência na execução das interfaces entre esquadrias e vedação vertical externa (Figura 2). Houve manutenção da pintura em obras realizadas pela construtora, mas a mesma não tem durabilidade.

Figura 2 - Pintura descascando e sem aderência na parede: (a) Esquadria na sala de estar; (b) e (c) Entorno de esquadrias dos dormitórios



(a) (b) (c)

Fonte: os autores.

As manifestações patológicas identificadas durante a inspeção incluem bolhas na pintura, destacamento de revestimentos, presença persistente de mofo e alteração de coloração em placas cerâmicas de áreas molhadas. A predominância das anomalias em paredes de fachada reforça a hipótese de comprometimento da estanqueidade do sistema de vedação vertical externa. Observou-

se também o descolamento de rodapés associado à umidade (Figura 3), evidenciando comprometimento da interface parede/piso.

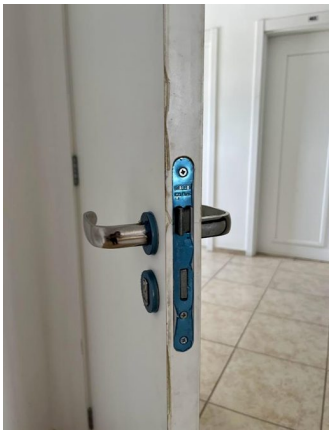
Figura 3 - Rodapés descolados da parede, grande indício de umidade.



Fonte: os autores.

A porta de entrada de um apartamento apresentava dificuldade para o fechamento por motivos de estufamento (Figura 4), ocasionado pela absorção de umidade pelo material, resultando em perda de funcionalidade.

Figura 4 - Porta de entrada do apartamento estufada, tem seu fechamento dificultado devido a este estufamento. Necessária reforma ou troca de porta.



Fonte: os autores.

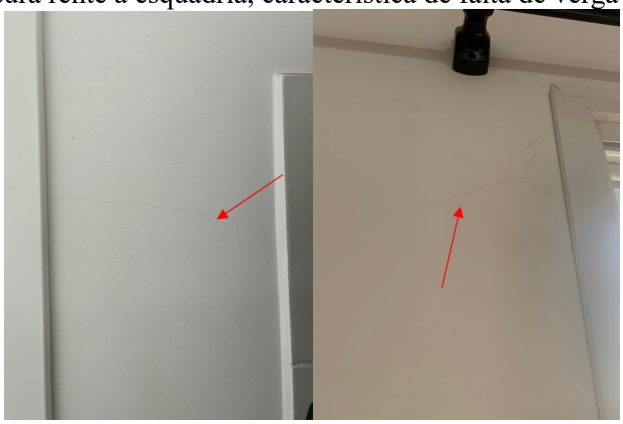
Conforme estabelece o item 10 da ABNT NBR 15575, a edificação deve garantir estanqueidade à água da chuva, considerando exposição ao vento, precipitação e características construtivas. A recorrência de infiltrações e a umidade permanente indicam não atendimento pleno a esse requisito, especialmente considerando que intervenções anteriores se mostraram paliativas e não solucionaram a causa do problema.

Ainda, a utilização de revestimento interno em gesso nas paredes sujeitas à umidade agrava o quadro, uma vez que esse material apresenta elevada sensibilidade à água, favorecendo degradação precoce.

4.2 Fissuras e possíveis implicações estruturais

Foram identificadas fissuras de diferentes espessuras distribuídas em paredes internas, incluindo fissura diagonal localizada em elemento possivelmente estrutural. Fissuras adjacentes às esquadrias, com características compatíveis à ausência de verga e contraverga (Figura 5).

Figura 5 - Fissura rente a esquadria, característica de falta de verga e contraverga.



Fonte: os autores.

A Figura 6 evidencia fissuração disseminada nas paredes internas da unidade, com ocorrência de fissuras diagonais e verticais, especialmente nas regiões próximas aos apoios. Embora não tenham sido realizados ensaios complementares ou análise do projeto estrutural, o padrão observado pode indicar movimentações diferenciais ou redistribuição de esforços no conjunto estrutural. Também foi identificada fissura diagonal ativa em viga de concreto armado (Figura 7) próxima ao apoio, com reincidência após reparo superficial. A geometria da fissura é compatível com concentração de tensões na alma do elemento, podendo estar associada a esforços de cisalhamento. A presença simultânea de fissuração na parede lateral de apoio reforça a hipótese de interação estrutural ou movimentação do suporte.

Figura 6 - Diversas fissuras encontradas por todo apartamento.



Fonte: os autores.

A associação entre infiltração de água e fissuração suscita preocupação quanto à possível exposição das armaduras à umidade, com risco de corrosão e comprometimento da durabilidade estrutural. Recomenda-se monitoramento da evolução das fissuras e avaliação estrutural complementar para verificação das condições de segurança.

Figura 7 - Rachadura em viga de concreto armado.



Fonte: os autores.

4.3 Revestimentos cerâmicos interno

O sistema de revestimento, tanto cerâmico quanto laminado, apresenta descolamento de placas, falhas de rejuntamento e alteração de coloração em condições de umidade. Conforme estabelece a ABNT NBR 13753, o desempenho adequado do sistema depende do correto preenchimento do verso das placas, especificação adequada da argamassa colante e respeito ao tempo de cura antes do rejuntamento. As manifestações patológicas observadas sugerem possível falha na execução ou na especificação dos materiais empregados. A soma desses fatores indica comprometimento da durabilidade e manutenabilidade, refletindo impacto direto no custo global do imóvel e na satisfação do usuário. O desnível do piso cerâmico na interface da cozinha com a sala de estar pode ser observado na Figura 8, com locais que transmitem a sensação de afundamento ao caminhar, indicando possível falha de assentamento e/ou perda de aderência do sistema.

Figura 8 – Piso do apartamento desnivelado.



Fonte: os autores.

4.4 Saúde, higiene e qualidade do ar

A presença constante de bolor e manchas de mofo nas paredes internas configura impacto direto nos requisitos de habitabilidade previstos na parte 1, no item 15 da ABNT NBR 15575-1. A norma estabelece que a edificação deve propiciar condições adequadas para evitar a proliferação de microrganismos, considerando níveis de umidade interna. No caso analisado, a umidade generalizada favorece o desenvolvimento de fungos e manchas (Figura 9), mesmo diante de práticas frequentes de limpeza por parte dos usuários.

Figura 9 - Manchas de mofo nas paredes do apartamento: (a) Quarto; (b) Sala de estar.



(a) (b)

Fonte: os autores.

A persistência dessa condição indica que a origem do problema não está relacionada a hábitos de uso, mas sim à presença contínua de umidade proveniente de infiltrações externas ou falhas construtivas.

4.5 Durabilidade e Vida Útil de Projeto (VUP)

Conforme estabelecido na ABNT NBR 15575-1:2021, Capítulo 14, Tabela 4, a Vida Útil de Projeto mínima para vedações verticais internas é de 20 anos. Considerando que a edificação apresentava cerca de três anos de uso, período significativamente inferior aos prazos normativos previstos, julga-se que a edificação não atendeu aos requisitos da norma.

Foram observadas manifestações patológicas como descolamento de revestimentos cerâmicos, perda de aderência de pisos, destacamento de pintura, empenamento de portas por absorção de umidade e desprendimento de rodapés. Tais ocorrências indicam degradação precoce dos sistemas, incompatível com o desempenho esperado dentro da VUP estabelecida.

Esse quadro sugere comprometimento da durabilidade e manutenabilidade da unidade, com possível influência de falhas de execução ou especificação, implicando redução da vida útil efetiva dos componentes e impacto no custo global do imóvel.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico técnico da edificação habitacional indica que as manifestações patológicas mapeadas configuram um quadro de obsolescência precoce, e não um desgaste natural de operação. Casos registrados, como a falha na vedação original das esquadrias, associada à aplicação técnica inadequada de revestimentos em gesso nas fachadas e a deficiências agudas no assentamento de

pisos cerâmicos, resultaram em uma aparente quebra generalizada de estanqueidade. Conclui-se que esses vícios construtivos podem ter rompido a barreira de proteção do edifício logo nos primeiros anos de uso, invalidando a VUP exigida pelas normativas vigentes.

As consequências deste cenário apresentado ultrapassam o prejuízo estético ou material, impactando severamente a habitabilidade e a saúde dos ocupantes. A saturação das paredes pode ter propiciado a proliferação de mofo e fungos, enquanto o estufamento de portas e o descolamento de pisos geraram riscos físicos e comprometeram a funcionalidade dos ambientes. Essa permanência de um ambiente insalubre viola os requisitos de higiene, saúde e segurança da ABNT NBR 15575, indicando que a falha na escolha e execução dos materiais atinge o propósito de proteção fundamental da moradia.

O cenário observado reflete uma disfunção no planejamento econômico e técnico de empreendimentos de interesse social, ilustrando o risco de se priorizar a redução do custo inicial em detrimento do desempenho no ciclo de vida. A aparente tentativa de otimizar a construção mediante a substituição de argamassa por gesso em áreas vulneráveis à umidade e a não adoção de procedimentos de vedação exigiu a indicação de reconstrução completa dos revestimentos internos e a troca integral de sistemas de piso e esquadrias. Essa situação tende a demonstrar que suprimir a qualidade técnica na fase de execução transfere passivos de manutenção corretiva para utilizadores que não contavam com esse cenário ao adquirirem seu imóvel.

Para evitar a repetição de colapsos prematuros na infraestrutura habitacional, faz-se necessária uma mudança na condução de projetos voltados ao interesse social. A garantia de durabilidade demanda que o setor construtivo aplique de forma estrita as diretrizes da norma de desempenho desde a fase de especificação, vetando a utilização de materiais incompatíveis com as solicitações de exposição do imóvel. Ao assegurar a compatibilidade técnica dos sistemas e a estanqueidade da edificação, promove-se a entrega de construções resilientes, garantindo a integridade do património e a manutenção de um ambiente seguro e salubre para os usuários.

REFERÊNCIAS

AMARAL, I. B. C., e*t al*. Levantamento de manifestações patológicas no campus I e JK da UFVJM; um olhar sobre obras públicas. **Revista Tecnológica,** v. 29, n. 2, p. 475-486, 2020.

BAUER, E.; PIAZZAROLLO, C. B.; DE SOUZA, J. S.; DOS SANTOS, D. G. Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 5, n. 1, p. 1–10, 2020. DOI: 10.1007/s41024-020-0072-6.

BELLIDO *et. al* (2023). "Diagnóstico de las principales manifestaciones patológicas de edificios ubicados en la Región Este de la ciudad de Juiz de Fora (MG) - Brasil" en: Álvaro G. Sánchez Bellido, Juan Carlos Rojas Vidovic, Alan J. Aparicio Ortubé, Enio J. Pazini Figueiredo y Pedro Castro Borges (Eds.), **Memorias del XVII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XVIX Congreso de Control de Calidad en la Construcción, CONPAT 2023**. Santa Cruz de la Sierra (BOL), (pp. 13). DOI: https://doi.org/10.21041/CONPAT2023/PC7012

BERTI, J. V. M.; SILVA JR., G. P.; AKASAKI, J. L. Estudo da origem, sintomas e incidências de manifestações patológicas do concreto**. Revista Científica ANAP Brasil**, v. 12, n. 26, p. 33-47, 2019.

BRANDSTETTER, M. C.; CHAGAS, L. Identificação da origem de manifestações patológicas detectadas em assistência técnica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2018. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2018. p. 1912–1919.

Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1547. Acesso em: 8 jun. 2022.

CIRINO, M. A. G. *et al*. Evaluation of the pathological manifestations of the buildings of the department of food engineering of the Federal University of Ceará. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e481974424, 2020.

ERAT, D. et al. Análise de patologias da construção civil. **Maiêutica-Engenharias**, v. 2, n. 1, 2016.

FARINA, D. T., *et. al.* (2025). "Análise e diagnóstico de manifestações patológicas em fachadas: estudo de caso em uma edificação em Porto Alegre - RS.". Editado por: Ángel Castillo Talavera, José Luis García Calvo, Enio J. Pazini Figueiredo y Pedro Castro Borges (Eds.), **Memorias del XVIII Congreso Iberoamericano de Patología de la Construcción y XX Congreso de Control de Calidad en la Construcción**, CONPAT 2025. Madrid, España, (pp. 846-854). DOI: https://doi.org/10.21041/CONPAT2025/V2PC111

FERREIRA, A. R.; OLIVEIRA, R. F. de. Patologias na construção civil: estudo de caso em duas residências na cidade de Iraí de Minas-MG. **Revista GeTeC**, v. 10, n. 26, 2021.

FERREIRA, J. B.; LOBÃO, V. W. N. Manifestações patológicas na construção civil. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE**, v. 5, n. 1, p. 71-80, 2018.

FIORITI, C. F. **Estudo de patologia em estruturas de concreto armado**. 2016. 292 f. Tese (Livre Docência) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, 2016.

GONÇALVES, E. A. B., **Estudo de Patologias e suas Causas nas Estruturas de Concreto Armado de Obras de Edificações**, Projeto de Graduação, UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2015.

LIMA, D. N. *et. al* (2023). "Manifestações patológicas em concreto: estudo de caso em edificação residencial" en: Álvaro G. Sánchez Bellido, Juan Carlos Rojas Vidovic, Alan J. Aparicio Ortubé, Enio J. Pazini Figueiredo y Pedro Castro Borges (Ed.), **Memorias del XVII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XVIX Congreso de Control de Calidad en la Construcción, CONPAT 2023**. Santa Cruz de la Sierra (BOL), (pp. 16). DOI: https://doi.org/10.21041/CONPAT2023/PC6267

LINS, E. J. M. et al. Patologias das construções em concreto armado: estudo de caso do edifício histórico da escola Politécnica de Pernambuco. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 77146-77163, 2021.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. Inspeção, diagnóstico e prognóstico na construção civil. ALCONPAT Int. **Boletín Técnico**, Mérida, México, n. 1, p. 3-15, mar. 2013.

CAPÍTULO 72 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/70vtpn61
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/816ya064

ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE UMA EDIFICAÇÃO ORIGINALMENTE RESIDENCIAL

Maria Eduarda da Silva Dembogurski[1]*, Daniel Thomaz Farina[1]; José Maria de Moura Júnior[1], Angela Borges Masuero[1] e Denise Dal Molin[1]
*mariae.dembogurski@gmail.com

[1] Laboratório de Materiais e Ambiente Construído, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

O presente estudo apresenta o diagnóstico técnico de uma edificação originalmente residencial adaptada para uso institucional, com foco na identificação e classificação de manifestações patológicas e avaliação do desempenho de seus sistemas construtivos. A pesquisa caracteriza-se como estudo de caso único, desenvolvido por meio de inspeção predial de Nível 2, conforme preceitos do IBAPE/SP, com base em inspeção visual sistematizada, análise documental e levantamento do histórico de uso. Foram identificadas anomalias associadas principalmente à perda de estanqueidade da envoltória, à degradação do sistema de cobertura, a movimentações diferenciais em pisos externos e a não conformidades no sistema elétrico. Destacam-se desníveis de até 6 cm em áreas de circulação e inadequações às exigências da ABNT NBR 14136, o que configura risco potencial aos usuários. Os resultados indicam que, apesar da realização de manutenções pontuais, a predominância de intervenções corretivas, associada à idade da edificação e à mudança de uso, contribuiu para a progressão das patologias. O estudo reforça a importância da inspeção predial periódica como instrumento técnico para priorização de intervenções e mitigação de riscos.
Palavras-chave: inspeção predial; manifestações patológicas; desempenho de edificações; manutenção predial; gestão de risco.

ABSTRACT

This study presents the technical diagnosis of a building originally designed for residential use and later adapted for institutional purposes, focusing on the identification and classification of pathological manifestations and the evaluation of the performance of its building systems. The research is characterized as a single case study conducted through a Level 2 building inspection, in accordance with IBAPE/SP guidelines, based on systematic visual inspection, document analysis, and assessment of the building's usage history. The main anomalies identified were associated with loss of watertightness of the building envelope, degradation of the roofing system, differential

movements in external pavements, and non-compliance in the electrical system. Height differences of up to 6 cm in circulation areas and non-conformities with ABNT NBR 14136 were observed, representing potential risks to users. The results indicate that, despite the implementation of occasional maintenance actions, the predominance of corrective interventions, combined with the building's age and change of use, contributed to the progression of the pathologies. The study highlights the importance of periodic building inspections as a technical tool for intervention prioritization and risk mitigation.
Keywords: building inspection; pathological manifestations; building performance; building maintenance; risk management.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a qualidade e o desempenho das edificações tem reforçado a necessidade de incorporar os conceitos de durabilidade e de vida útil. No ramo da construção civil brasileira é comum encontrar manifestações patológicas em edificações ocasionadas devido às ações do tempo, erros de projeto, falta de manutenção, má qualidade dos materiais, alteração de uso da edificação, ações imprevisíveis, entre outros (Athibaranan; Karthikeyan; Rawat, 2022; Lima *et al.*, 2023). Para que uma edificação apresente desempenho satisfatório ao longo de sua vida útil, é indispensável o controle rigoroso nas etapas de concepção e execução da estrutura, bem como a realização de manutenções periódicas ao longo dos anos após sua construção (Santos *et al.,* 2023*)*.

A identificação e o monitoramento das manifestações patológicas nas edificações são fundamentais para prevenir os danos decorrentes de sua deterioração precoce (Azevedo *et al*., 2023). Após o surgimento de uma anomalia, é imprescindível um estudo detalhado da edificação a fim de entender com clareza o fenômeno e determinar quais medidas devem ser tomadas, proporcionando a melhor solução para aquele específico problema (Neves; Vázquez, 2020; Lins *et al.,* 2021). Berti, Silva Jr. e Akasaki (2019) ressaltam que determinar corretamente a origem, causa e mecanismo de uma anomalia é fator determinante não só para a sua solução, como também para resolução de casos judiciais.

A inspeção predial avalia as condições físicas e funcionais de uma edificação, buscando identificar anomalias e falhas, auxiliando na orientação das atividades de manutenção (Carvalho e Almeida, 2017). É possível prevenir acidentes por meio de manutenções preventivas e corretivas que garantam o desempenho esperado da edificação, proporcionando conforto e segurança aos seus usuários (Quinquim *et al.*, 2023). Caso não ocorram manutenções na estrutura e nos seus elementos, os problemas patológicos podem se agravar, resultando em danos ainda maiores que poderão afetar a estética e a utilização da edificação, podendo levar ao colapso e, no pior dos casos, à morte de pessoas (Oliveira M.; Oliveira T; Araújo, 2019).

Diante disso, o presente artigo teve por finalidade realizar um diagnóstico de uma edificação, objetivando identificar os problemas no revestimento das fachadas, infiltrações, fissuras, trincas e outros vícios e/ou defeitos construtivos existentes, visando orientar o plano de manutenção, e as ações de manutenção nos sistemas construtivos priorizadas pelo seu grau de risco.

2. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O objeto de estudo consiste em uma edificação de três pavimentos, incluindo um subsolo, localizado no bairro Três Figueiras, na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A obra foi

executada segundo os padrões convencionais de construção da região, com estrutura principal em concreto armado e os fechamentos, tanto externos quanto internos, em alvenaria. O sistema de cobertura apresenta variações conforme o setor, utilizando telhas de cerâmica sobre as lajes do corpo principal e telhas de fibrocimento na estrutura do quiosque. Em acréscimo, o complexo é formado por três pavimentos distintos, incluindo um nível de subsolo. A Figura 1 apresenta a fachada principal da edificação (Figura 1a), bem como sua inserção urbana e localização no contexto do bairro (Figura 1b).

Figura 1: (a) Fachada de acesso; (b) Localização da edificação.



(a) (b)

Autores, 2026.

Outro ponto de interesse sobre o objeto de estudo consiste na evolução do propósito de uso da edificação ao longo do tempo. Originalmente, o projeto arquitetônico e a concepção espacial do imóvel foram estabelecidos com um objetivo estritamente residencial. No entanto, para abrigar as novas atividades, o edifício foi submetido a reformas e adaptações, passando a ser utilizado com fins educacionais.

Essa alteração de finalidade resulta em uma mudança significativa na dinâmica do edifício, modificando a taxa de ocupação dos ambientes, a intensidade do fluxo de usuários e a frequência de utilização das instalações hidrossanitárias e elétricas. A transição de um perfil de demanda familiar para um fluxo institucional contínuo altera a solicitação imposta ao ambiente construído, exigindo um novo olhar sobre a capacidade de suporte dos seus componentes originais.

Deste modo, torna-se necessário contextualizar, sob a ótica da engenharia diagnóstica, como essa adaptação se relaciona com o desempenho esperado dos materiais. A literatura técnica e normas de desempenho, como a ABNT NBR 15575-1:2025 (Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais), preconizam que a Vida Útil de Projeto (VUP) dos sistemas é dimensionada com base na carga e finalidade de ocupação inicialmente estipuladas. Quando componentes especificados para rotinas residenciais são expostos ao desgaste contínuo de operações institucionais, pode ocorrer uma aceleração no processo natural de obsolescência dos materiais, especialmente se as manutenções preventivas não forem realizadas. Portanto, o reconhecimento da mudança de tipologia atua como uma premissa fundamental, fornecendo um cenário para a compreensão das vulnerabilidades encontradas.

3. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como pesquisa aplicada, de natureza descritiva e abordagem qualitativa, desenvolvida por meio de estudo de caso único. A investigação fundamentou-se na realização de inspeção técnica com o objetivo de diagnosticar anomalias construtivas, avaliar o

desempenho dos sistemas e classificar o grau de risco associado às não conformidades identificadas.

O procedimento metodológico baseou-se nos preceitos da Norma de Inspeção Predial do IBAPE/SP, enquadrando-se como Inspeção de Nível 2, conforme a complexidade da edificação e a abrangência dos sistemas analisados.

3.1 Procedimentos técnicos adotados

A vistoria foi realizada in loco, abrangendo todos os pavimentos, áreas externas e sistema de cobertura. A avaliação consistiu em inspeção visual sistematizada, com registro fotográfico das anomalias, análise dos projetos disponibilizados e levantamento do histórico de uso junto à administração da instituição.

Foram examinados os sistemas de vedação vertical, revestimentos, cobertura, esquadrias, instalações elétricas aparentes e áreas externas pavimentadas, considerando-se sua condição de conservação e desempenho funcional.

Não foram realizados ensaios destrutivos ou análises laboratoriais, restringindo-se o escopo a métodos não invasivos compatíveis com inspeção de Nível 2. As conclusões fundamentam-se na correlação entre evidências observadas, análise documental e mecanismos patológicos descritos na literatura técnica.

3.2 Critérios de análise e classificação

A análise considerou a origem provável das anomalias, o sistema construtivo afetado e o impacto no desempenho global da edificação. A classificação contemplou aspectos relacionados à segurança dos usuários, funcionalidade, durabilidade e perda de vida útil dos componentes.

O grau de risco foi estabelecido de forma qualitativa, definindo-se níveis de criticidade (baixo, médio ou alto) conforme a urgência de intervenção e o potencial de agravamento. Como referência técnica, adotaram-se as diretrizes da ABNT NBR 5674 e os parâmetros de desempenho da ABNT NBR 15575.

A partir desses critérios, foi possível hierarquizar as intervenções necessárias, priorizando situações com risco imediato à segurança e aquelas que comprometem a estanqueidade e o desempenho da edificação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Manifestações relacionadas à estanqueidade e envoltória da edificação

A análise dos dados obtidos durante a inspeção evidenciou que as manifestações patológicas predominantes estão associadas a falhas de estanqueidade da envoltória, especialmente em fachadas, esquadrias e sistema de cobertura.
Nas salas do segundo pavimento voltadas ao pátio frontal foram identificadas bolhas, manchas, microfissuração e destacamento do revestimento interno. Observou-se que as janelas destas fachadas não possuem pingadeiras, marquises ou dispositivos construtivos destinados ao desvio da lâmina d’água. Durante eventos de chuva com vento, a água incide diretamente sobre o plano

vertical, favorecendo a infiltração por capilaridade e por falhas de vedação. Essa condição compromete o desempenho quanto à estanqueidade, conforme critérios da ABNT NBR 15575, além de acelerar o processo de degradação dos revestimentos.
Outro ponto observado é que as esquadrias em madeira e ferro apresentam desalinhamento. As falhas de vedação, corrosão em trilhos metálicos e infiltração pela base das esquadrias podem ser observadas na Figura 2 (a–b), evidenciando comprometimento da estanqueidade do sistema, configurando perda funcional do sistema.

Figura 2: Problemas de estanqueidade nas janelas

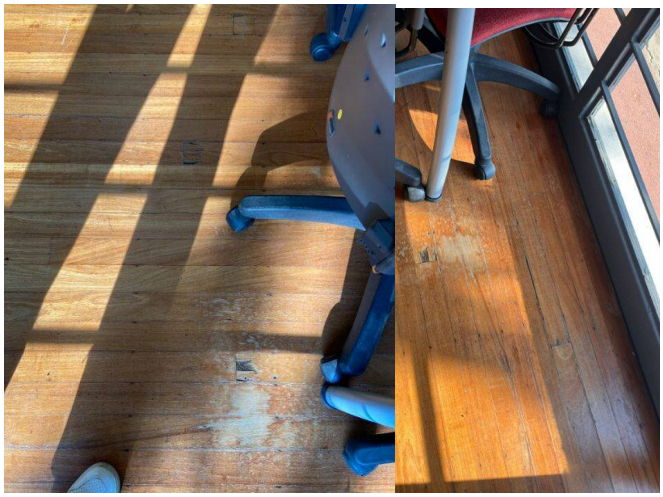


(a) (b)

Autores, 2026.

O piso da biblioteca sofreu danos, especialmente nas áreas adjacentes às esquadrias de fundo, e estão ilustrados na Figura 3 (a–b), onde se observa descoloração e desgaste superficial decorrentes da exposição contínua à umidade e incidência solar.

Figuras 3: descoloração e desgastes superficiais no piso da biblioteca



(a) (b)

Autores, 2026.

4.2 Sistema de cobertura e infiltrações recorrentes

O sistema de cobertura apresenta telhas cerâmicas desalinhadas e quebradas, além de indícios de ataque biológico (cupins) no madeiramento estrutural. A fragilidade do suporte estrutural favorece o deslocamento das telhas, potencializando a ocorrência de infiltrações.

As infiltrações observadas nos forros do pavimento superior e na biblioteca apresentam relação direta com a deficiência do sistema de cobertura, indicando perda de desempenho do conjunto construtivo. As consequências dessas infiltrações na biblioteca são evidenciadas na Figura 4 (a–b), na qual se observa destacamento do forro de gesso e manchas de escorrimento na parede imediatamente inferior. Os danos identificados nos forros do pavimento térreo estão representados na Figura 5 (a–c), indicando recorrência de infiltrações descendentes ao longo do tempo.

Figura 4: Forro de gesso da Biblioteca (a) destacado devido a vazamento proveniente do andar superior e parede imediatamente abaixo (b), com manchas do escorrimento dos vazamentos



(a) (b)

Autores, 2026.

Figuras 5: Forros do térreo



(a) (b) (c)

Autores, 2026.

As salas de aula situadas na fachada voltada para o pátio frontal apresentam bolhas, umidade, manchas e microfissuras nas paredes. Observa-se que as esquadrias dessas fachadas não possuem pingadeiras, marquises ou outros dispositivos construtivos destinados ao desvio da lâmina d'água. Como consequência, durante eventos de chuva com vento, a água incidente não é adequadamente direcionada, infiltrando-se pelas interfaces da vedação vertical. As manifestações descritas podem ser visualizadas na Figura 6 (a–c), evidenciando bolhas, manchas e microfissuração nas paredes adjacentes às esquadrias desprovidas de proteção contra chuva dirigida.

Figura 6: Salas de aula situadas na fachada voltada ao pátio frontal: (a) formação de bolhas e destacamento da pintura; (b) manchas de umidade em parede interna; (c) evidências de infiltração na laje/forro, com manchas localizadas junto às instalações de iluminação.

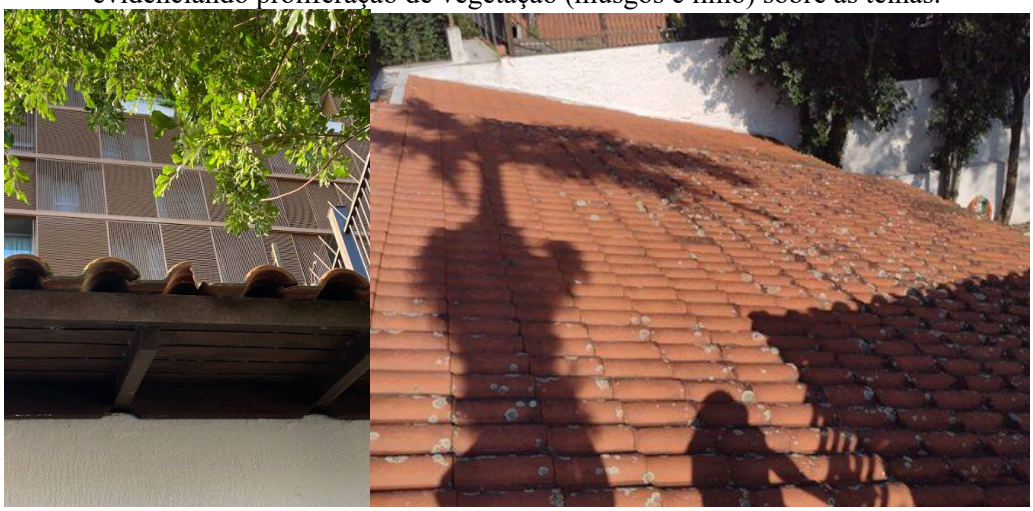


(a) (b) (c)

Autores, 2026.

Adicionalmente, a presença de vegetação arbórea próxima à edificação contribui para impactos mecânicos recorrentes sobre a cobertura, agravando o desalinhamento e a ruptura das telhas. A condição das telhas cerâmicas, com presença de musgos, limo e peças fraturadas, é apresentada na Figura 7 (a–b), corroborando a perda de desempenho do sistema de cobertura. O conjunto desses fatores caracteriza um processo de degradação progressiva, com impacto direto na durabilidade e na vida útil do sistema.

Figura 7: Sistema de cobertura: (a) presença de telhas cerâmicas quebradas; (b) vista superior do telhado evidenciando proliferação de vegetação (musgos e limo) sobre as telhas.



(a) (b)

Autores, 2026.

4.3 Movimentações diferenciais e problemas em pisos externos

No pátio externo foram identificadas fissuras generalizadas, perda de aderência de revestimentos cerâmicos e desníveis que atingem aproximadamente 6 cm. A extensão das fissuras e as variações altimétricas observadas no piso estão demonstradas na Figura 8 (a–b), evidenciando deformações compatíveis com possível movimentação do substrato. A magnitude dos desníveis configura risco significativo de acidentes por queda, sobretudo considerando o uso institucional com fluxo contínuo de usuários.

Figuras 8: piso do pátio externo com múltiplas rachaduras e desníveis, com variações de altura que atingem até 6 cm.



(a) (b)

Autores, 2026.

Relatos dos ocupantes indicam que o surgimento das fissuras coincidiu com a execução de obra no terreno adjacente. Embora a inspeção visual não permita estabelecer nexo causal definitivo, a

hipótese de recalque diferencial decorrente da redistribuição de tensões no solo mostra-se tecnicamente plausível, demandando monitoramento sistemático e eventual investigação geotécnica complementar.

Em frente à porta de acesso à sala de reuniões, observam-se trechos com quebra do revestimento e presença de pequenos vazios superficiais. A degradação do piso nessa área é apresentada na Figura 9 (a), onde se evidenciam quebras, destacamentos e perda de integridade superficial. Tal condição pode estar associada à combinação entre possíveis movimentações do solo relacionadas à obra vizinha, acúmulo recorrente de água e ausência de manutenção preventiva adequada.

O espelho das escadas externas apresenta manchas de umidade e degradação da pintura, manifestação possivelmente relacionada à deficiência ou ausência de impermeabilização. Essas evidências podem ser visualizadas na Figura 9(b), reforçando a hipótese de comprometimento da proteção superficial da estrutura exposta às intempéries.

Figura 9:(a) Piso com revestimento danificado e presença de vazios superficiais em frente à porta de acesso à sala de reuniões; (b) espelho das escadas externas com manchas de umidade e degradação da pintura.



Autores, 2026.

4.4 Revestimentos e destacamentos

O revestimento em pastilhas cerâmicas apresenta descolamento em marquises e muretas externas, indicando comprometimento da aderência à base. Essa condição pode ser observada na Figura 10 (a–b), evidenciando a perda de integridade do sistema de revestimento. A perda de aderência expõe a base estrutural à ação direta de agentes atmosféricos, favorecendo infiltrações, biodeterioração e degradação acelerada dos elementos construtivos.

Figura 10: O revestimento apresenta vários pontos de descolamento e perda de aderência.



(a) (b)

Autores, 2026.

No interior da edificação, foram identificados revestimentos cerâmicos de piso com presença de som cavo e rejuntes deteriorados, caracterizando perda de coesão e possível movimentação do substrato. Em diversas salas e áreas de circulação do pavimento térreo, o rejuntamento das peças cerâmicas encontra-se comprometido (Figura 11). Em alguns pontos, o rejunte está ausente; em outros, apresenta fissuras; e, em determinadas áreas, verifica-se som cavo ao pisar, indicando perda de aderência das peças à base. Relatos da administração indicam que tais problemas surgiram após as intervenções realizadas no terreno adjacente, sendo tecnicamente plausível que movimentações diferenciais tenham contribuído para a perda de aderência observada.

Figura 11: Rejunte ausente, fissuras, e em certos pontos, som cavo ao pisar, indicando que as peças perderam a aderência à base.



(a) (b)

Autores, 2026.

Por fim, o muro externo apresenta pontos de proliferação de musgos e pequenas vegetações, indicativos de retenção de umidade no material. Essa condição pode ser visualizada na Figura 12

(a–b), reforçando a hipótese de exposição prolongada à umidade e deficiência de drenagem superficial.

Figura 12: O muro apresenta pontos de proliferação de musgos e pequenas vegetações, indicando a presença de umidade no material.



(a) (b)

Autores, 2026.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As anomalias identificadas na edificação não são apenas desgastes estéticos isolados, mas configuram um quadro de degradação sistêmica e progressiva. Através da inspeção predial, verificou-se manifestações patológicas como infiltrações, descolamento de fachadas, corrosão de esquadrias e fissuras estruturais derivam da ação conjunta entre o fim da vida útil dos materiais, a deficiência em manutenções preventivas e a incidência de fatores externos, como as tensões mecânicas provenientes do lote vizinho. A ocorrência simultânea desses elementos compromete o desempenho global do imóvel, exigindo intervenções corretivas para restabelecer a integridade da obra.

A manutenção desse estado de deterioração pode significar mais que o prejuízo puramente material, impondo riscos diretos e imediatos à integridade física dos ocupantes da instituição. O levantamento técnico diagnosticou desníveis de até 6 cm no piso do pátio externo que propiciam acidentes por queda , além de instalações elétricas com cabeamento exposto e tomadas fora do padrão normativo que elevam drasticamente o perigo de curtos-circuitos e choques. Portanto, a continuidade deste cenário pode representar um risco aos usuários, demandando atenção imediata.

O contexto observado da edificação ilustra um desafio comum na adaptação de imóveis pré-existentes para novas rotinas de ocupação. Quando uma estrutura passa a receber um novo uso destinado, sem a correspondente atualização do seu plano de manutenção, é natural que ocorra uma depreciação mais acelerada dos seus componentes. No caso avaliado, a prática de realizar manutenções predominantemente corretivas resultou na necessidade atual de substituir sistemas inteiros, a exemplo do telhado e do conjunto de esquadrias. Essa constatação evidencia que a ausência de um acompanhamento preventivo contínuo acaba gerando demandas financeiras imprevistas e mais elevadas para a administração do imóvel.

Para reverter esse quadro e garantir a segurança dos ocupantes, é recomendável a transição para um modelo de gestão predial preventiva. A estruturação de um plano de manutenção alinhado às diretrizes normativas permitirá que a estrutura responda de forma adequada à sua nova carga operacional de ensino. Ao programar as reparações necessárias com mão de obra especializada, a instituição não apenas resolverá as falhas atuais de forma definitiva, mas assegurará a longevidade do património físico e a plena funcionalidade do ambiente para o desenvolvimento das suas atividades.

REFERÊNCIAS

ATHIBARANAN, S.; KARTHIKEYAN, J.; RAWAT, S. Investigation on service life prediction models of reinforced concrete structures exposed to chloride laden environment. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 7, n. 1, p. 1–15, 2022. DOI: 10.1007/s41024-021-00149-8.

AZEVEDO, V. F. B. *et al*. Analysis of pathological manifestations through damage map: case study in Buildings I and K of the Polytechnic School of Pernambuco. In: XIX International Conference on Building Pathology and Constructions Repair (CINPAR 2023), Sobral, CE, Brazil, 8–10 June 2023. **Anais…** [S. l.], 2023. Disponível em:https://doi.org/10.4322/CINPAR.2023.003.

BERTI, J. V. M.; SILVA JR., G. P.; AKASAKI, J. L. Estudo da origem, sintomas e incidências de manifestações patológicas do concreto. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 12, n. 26, p. 33-47, 2019.

Lima, D. N. *et al.* (2023). "Manifestações patológicas em concreto: estudo de caso em edificação residencial" en: Álvaro G. Sánchez Bellido, Juan Carlos Rojas Vidovic, Alan J. Aparicio Ortubé, Enio J. Pazini Figueiredo y Pedro Castro Borges (Ed.), **Memorias del XVII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XVIX Congreso de Control de Calidad en la Construcción, CONPAT 2023**. Santa Cruz de la Sierra (BOL), (pp. 16). DOI: https://doi.org/10.21041/CONPAT2023/PC6267

NEVES, M, B. J.; VAZQUEZ, E. G. Patologias das estruturas. **Boletim do Gerenciamento**, v. 22, n. 22, p. 11-19, 2021.

OLIVEIRA, M. R.; OLIVEIRA, T. N.; ARAÚJO, S. C. Patologias nas edificações, seu diagnóstico, e suas causas. In: **Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar**. 2019.

QUINQUIM, T. A. *et al.* (2023). "Procedimento para elaboração de inspeção predial: lista de verificação dos sistemas prediais com vistas a manutenção das edificações" en: Álvaro G. Sánchez Bellido, Juan Carlos Rojas Vidovic, Alan J. Aparicio Ortubé, Enio J. Pazini Figueiredo y Pedro Castro Borges (Eds.), **Memorias del XVII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XVIX Congreso de Control de Calidad en la Construcción, CONPAT 2023**. Santa Cruz de la Sierra (BOL), (pp. 14). DOI: https://doi.org/10.21041/CONPAT2023/PC8362

SANTOS, B. L. C. *et al.* Damage maps of façades of a public university. In: Congresso Internacional de Patologia e Reabilitação de Edifícios e Estruturas (CINPAR), 2023. **Anais…** Recife: Editoracubo, 2023. v. 1, p. 1-14. DOI: 10.4322/CINPAR.2023.008. Disponível em: https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/CINPAR.2023.008

CAPÍTULO 73 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/da09p888
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/swxdr877

INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS NO TEATRO MUNICIPAL "TEOTÔNIO VILELA" EM SOROCABA/SP - ESTUDO DE CASO

Vívian C. de Jesus Santos Perin[1]*, José C. Almeida[2]
*Autor de contato: vivianperin6@gmail.com

[1] Instituto Politécnico da Guarda, Guarda, Portugal
[2] Klaipėdos valstybinė kolegija, Klaipėda, Lithuania

RESUMO

A conservação do patrimônio público é de interesse social e tem, entre outros, como objetivo preservar a história e cultura da sociedade. Entretanto, para além da função histórica e cultural, deve-se garantir o bom desempenho da construção atrelada à sua vida útil, o que torna a manutenção preventiva indispensável. Essa prática permite identificar e corrigir patologias em estágios iniciais, assegurando que as edificações continuem atendendo às necessidades de seus usuários. As manifestações patológicas surgem, em geral, de um conjunto de fatores, entre os quais se destacam, erros de projeto, uso de materiais de baixa qualidade ou práticas construtivas inadequadas. Neste estudo, foi apresentado o Teatro Municipal Teotônio Vilela localizado em Sorocaba/SP, e após visitas foram identificadas manifestações patológicas, e foram realizados os mapas de danos no AutoCAD e feito a análise de cada patologia através do método GUT.
Palavras-chave: patrimônio público, patologia, causa, mapa de danos, método GUT.

ABSTRACT

The preservation of public heritage is of social interest and aims, among other things, to preserve the history and culture of society. However, beyond its historical and cultural function, it is necessary to guarantee the good performance of the building linked to its useful life, which makes preventive maintenance indispensable. This practice allows for the identification and correction of pathologies in their initial stages, ensuring that buildings continue to meet the needs of their users. Pathological manifestations generally arise from a set of factors, among which design errors, the use of low-quality materials, or inadequate construction practices stand out. In this study, the Teotônio Vilela Municipal Theater located in Sorocaba/SP was presented, and after visits, pathological manifestations were identified, and damage maps were created in AutoCAD and each pathology was analyzed using the GUT method.
Keywords: public heritage, pathology, cause, damage maps, GUT method.

1. INTRODUÇÃO

No artigo 23 da Constituição Federal do Brasil, é apresentada a responsabilidade do Poder Público, que consiste em zelar pela preservação e evitar degradação aos bens públicos com notória importância histórica, artística ou cultural para o país (Constituição da República Federativa do Brasil, 1988). Entretanto, para além da função histórica e cultural, deve-se assegurar o bom desempenho da edificação atribuída à sua vida útil.

Com a ausência de manutenções preventivas, surgem as manifestações patológicas que podem afetar a funcionalidade da edificação. Nesta etapa, é necessário a identificação da causa do surgimento dessas manifestações para que sejam tomadas medidas de reparação e prevenção eficazes, a fim de, conservar a integridade da estrutura (ARAÚJO *et al.*, 2020).

As manifestações patológicas em construções podem surgir devido a uma grande variedade de fatores que afetam a integridade e funcionalidade da edificação. Entre esses fatores, estão, os erros de dimensionamento de projetos, a utilização de materiais com baixos índices de controle tecnológico, a pressão por prazos de execução curtos que contribuem para a adoção de práticas construtivas inadequadas (HELENE, 1992).

A realização de inspeções periódicas é eficaz para garantir a longevidade das construções e a segurança dos usuários que ocupam aquele espaço. Por meio dessas inspeções, torna-se possível identificar e diagnosticar anomalias, viabilizando o planejamento e a execução de intervenções adequadas de caráter preventivo (SILVA; RIPPER, 2002).

O mapa de danos é o resultado da investigação sobre as alterações estruturais e funcionais dos componentes construtivos, e retrata a realidade da edificação em uma determinada data ou tempo, sendo essencial para identificar as manifestações patológicas identificadas e seu grau de severidade (TINOCO, 2009).

O grau de severidade das patologias é classificado em três níveis: leve, moderado e severo. Essa classificação tem como objetivo orientar a prioridade das intervenções necessárias, permitindo que se estabeleça um plano de ação adequado, levando em consideração o risco que cada patologia representa para a edificação e para os seus ocupantes. A gravidade das manifestações patológicas é avaliada com base em critérios técnicos, como a extensão do dano, o potencial de propagação da anomalia e os impactos sobre a segurança estrutural da edificação (KNAPP e OLIVAN, 2015).

A abordagem destinada à resolução das manifestações patológicas é diversificada, abrangendo desde intervenções pontuais e de pequena escala, tais como reforço de componentes estruturais até restaurações de maior extensão e complexibilidade. As intervenções localizadas ocorrem em áreas onde os danos são limitados e não comprometem a estabilidade global da construção. Contudo, a restauração generalizada ocorre quando os sistemas principais da edificação estão comprometidos, exigindo uma intervenção mais profunda (TEIXEIRA *et al.*, 2022).

Diante da relevância dos patrimônios públicos para a preservação histórica e cultural do país, esta pesquisa selecionou como objeto de estudo o edifício do Teatro Municipal Teotônio Vilela, localizado em Sorocaba–SP. Foram realizadas visitas ao local, durante as quais foram elaborados os mapas de danos das fachadas, com o objetivo de identificar e compreender as patologias aparentes. Além disso, procedeu-se à análise da prioridade de intervenção dessas manifestações patológicas por meio da aplicação do método GUT (gravidade, urgência e tendência).

2. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

2.1 Inspeção Visual

A inspeção visual é uma técnica amplamente utilizada para a avaliação preliminar da integridade estrutural de edificações e consiste na observação das superfícies expostas, permitindo a identificação de defeitos aparentes, como fissuras, descolamentos, corrosão e deformações. Entretanto, sua confiabilidade é considerada limitada por fatores como iluminação, sujeira acumulada na superfície e restrições de acesso a determinadas áreas (KIM *et al.*, 2023).

2.2 Ensaio de esclerometria

O ensaio de esclerometria é um método não destrutivo que avalia a dureza superficial do concreto, existindo uma correlação empírica entre a resistência à compressão do concreto e o índice de ressalto, o qual é formado por uma letra (que indica a qualidade do concreto) e o número (que indica a resistência à compressão).

No Brasil, a ABNT NBR 7584:2012 estabelece que o método baseia-se na determinação da energia de impacto aplicada por uma massa-martelo sobre a superfície do concreto. Parte dessa energia é dissipada sob a forma de deformação plástica na região ensaiada, enquanto que a outra parcela é conservada elasticamente, promovendo o retorno do martelo. Quanto maior a dureza superficial do concreto, menor é a energia convertida em deformação plástica e, consequentemente, maior é o índice de retorno ou reflexão do martelo.

O ensaio é realizado com o auxílio de um martelo que possui massa aproximada de 1,8 kg e é apropriado para ensaios tanto em laboratório quanto em campo. Um contrapeso, acionado por uma mola, desloca-se sobre um pistão em um tubo de proteção (Figura 1). A massa é lançada contra a superfície do concreto pela força da mola, e a distância de ressalto é registrada em uma escala arbitrária, variando de 10 a 100 (JEDIDI, 2020).

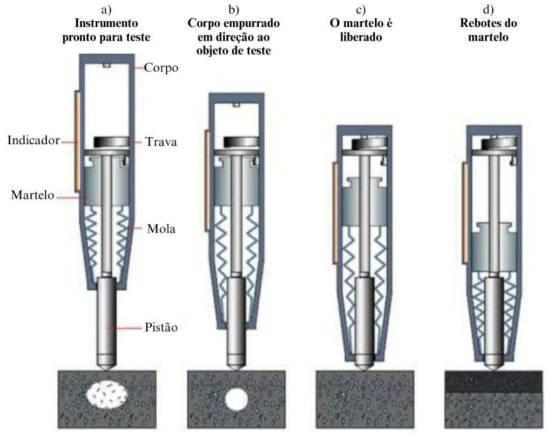


Figura 1 - Desenho esquemático do martelo (Jedidi, 2020).

2.3 Ensaio de velocidade de pulso ultrassônico

O ensaio de velocidade de pulso ultrassônico é uma técnica não destrutiva amplamente utilizada para avaliar as propriedades internas de materiais cimentícios, especialmente o concreto. O método baseia-se na propagação de pulsos ultrassônicos através do material e na medição do tempo que esses pulsos levam para percorrer uma distância estabelecida. A velocidade resultante é correlacionada com parâmetros como densidade, elasticidade e integridade estrutural do concreto (RJ LEE GROUP, 2023).

O ensaio é conduzido com transdutores localizados em lados opostos do elemento de concreto que está sendo testado, o que é nomeado como transmissão direta, conforme ilustrado na Figura 2.

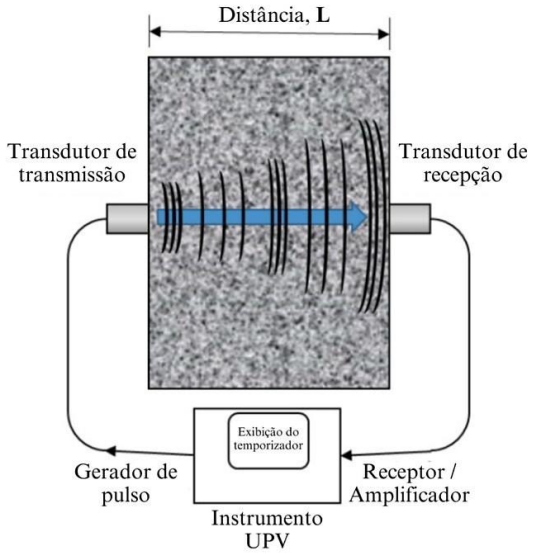


Figura 2 - Desenho esquemático do teste (RJ Lee Group, 2023).

A medição da velocidade da onda P fornece uma indicação da qualidade do concreto, velocidades mais altas tendem a indicar um concreto de melhor qualidade. Velocidades mais baixas são indicativas de falhas internas que retardam as ondas P ou as forçam a percorrer um caminho mais longo, como indicado pelos casos (b) e (c). A ausência completa de um pulso recebido indica vazios e fissuras maiores que causam a reflexão completa do pulso caso (d), conforme indicado na Figura 3 (RJ LEE GROUP, 2023).

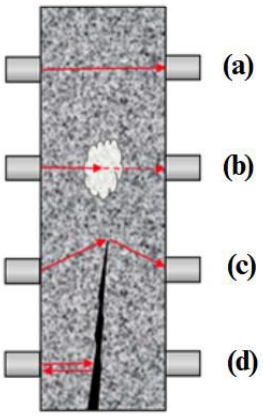


Figura 3 - Casos de detecção de falhas. (a) Sem falhas, sem redução de velocidade; (b) Região de alta porosidade, velocidade reduzida e pulso atenuado; (c) pulso desviado ao redor da ponta da fissura,

velocidade aparente mais baixa; (d) grande fissura aberta, reflexão completa do pulso (Adaptado de ACI Committee 228, 2013).

2.3 Ensaio de carbonatação

A carbonatação constitui um processo físico-químico decorrente da reação entre o dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera e o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) oriundo da hidratação do cimento na matriz cimentícia. Essa reação resulta na formação de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e na consequente redução do pH do concreto. A diminuição da alcalinidade compromete a estabilidade da camada passivadora que protege as armaduras de aço, tornando-as vulneráveis ao processo corrosivo (RIBEIRO; MESQUITA, 2019).

A carbonatação contribui para a redução da vida útil das estruturas de concreto armado, em virtude da diminuição do pH do concreto de aproximadamente 12,5 para de 8,5 (conforme apresentado em Figura 4), após o dióxido de carbono entrar em reação com os produtos de hidratação do cimento na presença de umidade (COVATTI *et al*., 2023).

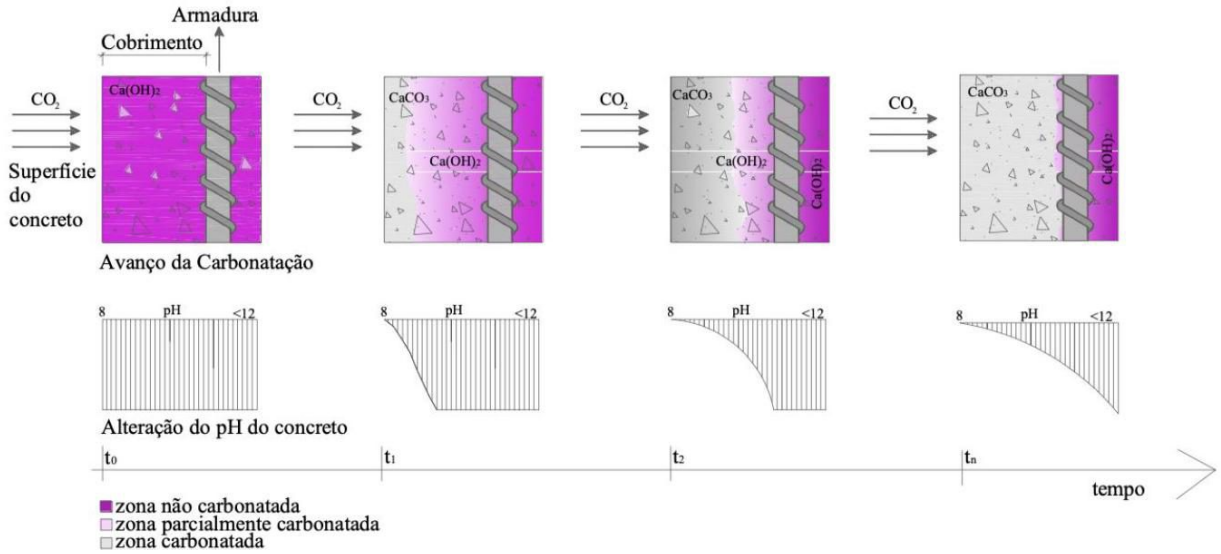


Figura 4 - Representação do avanço da carbonatação e alteração do pH do concreto ao longo do tempo (POSSAN, 2010).

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi desenvolvida através de um estudo de caso, de um patrimônio público, o Teatro Municipal "Teotônio Vilela", situado na cidade de Sorocaba-SP.
A metodologia utilizada para a condução deste trabalho encontra-se sistematizada no fluxograma apresentado na Figura 5:

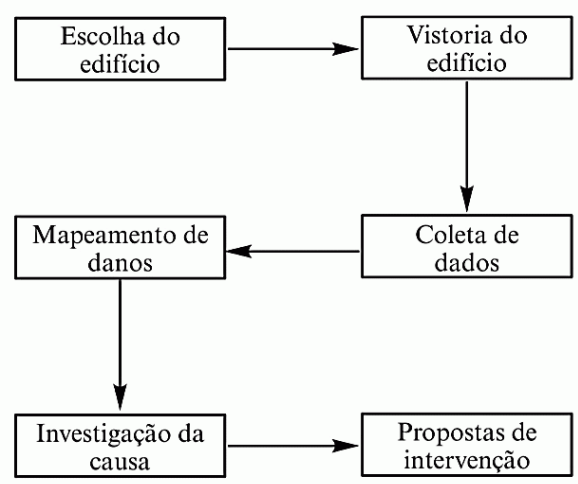


Figura 5 - Abordagem metodológica adotada (Autores, 2025).

O Teatro Municipal "Teotônio Vilela" foi selecionado por atender aos critérios de relevância e representatividade cultural para a cidade. Ademais, o edifício apresentava manifestações patológicas visíveis, evidenciando a necessidade de intervenções de reparo e manutenção.

Na fase de análise das manifestações patológicas, foram elaborados mapas de danos com a finalidade de representar graficamente o estado de conservação das fachadas do edifício.
Para auxiliar na identificação das manifestações patológicas aparentes, foi criada uma codificação para cada patologia identificada no teatro, conforme características detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Identificação de códigos apresentados nos mapas de danos

Tipo de manifestação patológica	Código
Fissuras	1
Bolor / Eflorescência	2
Corrosão de armadura	3
Alterações cromáticas	4
Sujidades	5
Presença de vegetação	6
Desplacamento de camada cimentícia	7
Nível de severidade	L quando leve M quando moderado G quando grave
Número de ocorrência	Apresentado em números romanos

Fonte: Autores, 2025.

Isto posto, quando evidenciada uma fissura, sua codificação seria 01G-I, sendo, número: 01 (correspondente a fissura), a letra G ao nível de severidade: grave e primeira ocorrência (I – em

número romano). Em seguida, quando evidenciados bolores e eflorescências, o código seria 02G-I, sendo número 02 (correspondente a bolor/ eflorescência), a letra G ao nível de severidade: grave e primeira ocorrência (I – em número romano). E assim, por diante com as demais patologias apresentadas na tabela.

Em seguida, foi realizado o método GUT (gravidade, urgência e tendência) para investigar o grau de severidade (leve, moderado e severo) das patologias aparentes, para que fosse definida a ordem de prioridade das intervenções de reparação a serem tomadas, capresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise da gravidade das patologias encontradas em campo pelo método GUT

Patologia	Gravidade	Urgência	Tendência	G*U*T	Ordem
Fissuras	4	4	4	64	1º
Bolor / Eflorescência	4	4	4	64	2°
Corrosão de armadura	4	4	3	48	3º
Alterações cromáticas	3	2	1	6	6º
Sujidades	3	3	3	27	5°
Presença de vegetação	1	1	3	3	7°
Desplacamento de camada cimentícia	4	4	3	48	4º

Fonte: Autores, 2025.

A Tabela 2 apresentou os resultados da classificação da ordem de prioridade de intervenção pelo método GUT, e as patologias “fissuras” e “bolor / eflorescência” obtiveram a mesma pontuação na somatória GUT, porém priorizou-se o tratamento das fissuras, por se tratar de uma patologia de possível natureza estrutural, que demanda maior atenção para garantir a segurança e durabilidade da edificação.

De maneira semelhante, as patologias “corrosão de armadura” e “desplacamento de camada cimentícia” também apresentaram pontuações equivalentes na somatória GUT. Ainda assim, estabeleceu-se como prioritária a intervenção na corrosão de armadura, tendo em vista que esse fenômeno compromete a durabilidade do aço e pode reduzir a capacidade resistente do concreto armado, elemento essencial ao desempenho estrutural da edificação.

Em paralelo, estava sendo desenvolvida a revisão de literatura, com o objetivo de embasar teoricamente o estudo proposto. Para compor o acervo da revisão bibliográfica, os estudos foram criteriosamente avaliados quanto à sua relevância e coerência com a temática da pesquisa.

4. TEATRO MUNICIPAL TEOTÔNIO VILELA - CASO DE ESTUDO

4.1 Caracterização do Teatro Municipal Teotônio Vilela

O Teatro Municipal Teotônio Vilela faz parte do complexo arquitetônico do Centro Administrativo

Municipal de Sorocaba, idealizado pelo arquiteto Luiz Arthur Guimarães Navarrette, em colaboração com os arquitetos José Luiz Raposo de Medeiros e René Carlos Guglielmi.

A concepção do projeto arquitetônico realizado em 1979, foi doado ao município e as obras concluídas em 1983. Com características marcantes da arquitetura brutalista, o Teatro foi concebido por meio de dois volumes distintos: um bloco principal e um bloco de acesso, como ilustrado na Figura 6. O bloco principal foi construído incluindo as áreas de plateia e palco, além das áreas de apoio, com pé-direito maior onde se localiza a caixa cênica sobre o palco. Já o bloco de acesso contempla a bilheteria e sanitários paralelamente ao bloco principal, junto do corredor que leva à plateia.

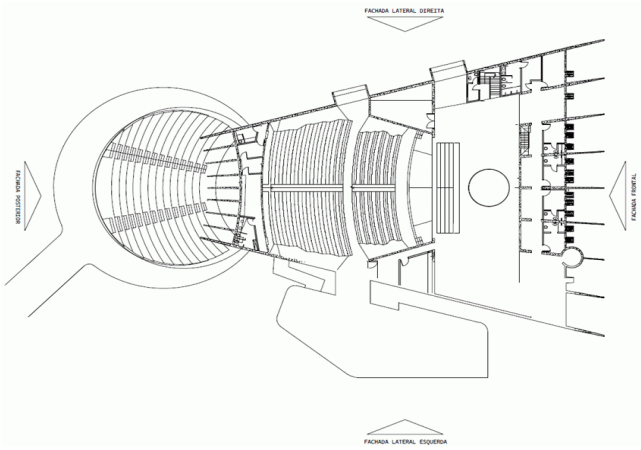


Figura 6 - Planta do Teatro Teotônio Vilela (Prefeitura Municipal de Sorocaba, 2025).

4.2 Análise das patologias aparentes no edifício escolhido

Os dados levantados em visita ao edifício, resultaram na evidência de algumas patologias, estando entre elas: manchas (eflorescência e bolor), fissuras, fendas, corrosão de armadura, sujidades na superfície, presença de vegetação, presença de estranhos e alterações cromáticas.

A fachada lateral esquerda do teatro apresenta múltiplos pontos de bolor e eflorescência, manchas escuras (sujidades), alterações cromáticas, fissuras, além de presença de vegetação. Mesmo em uma fotografia capturada à distância, essas patologias são perceptíveis, conforme ilustrado nas Figura 7. De forma semelhante, as fachadas frontal e lateral direita também apresentam os mesmos problemas de patologia, conforme evidenciado nas Figuras 8 e 9.



Figura 7 - Fachada lateral esquerda do teatro Teotônio Vilela (Fonte: Autores, 2025).

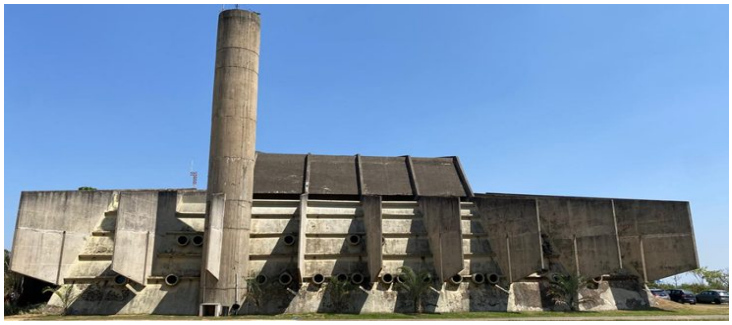


Figura 8 - Fachada frontal do teatro Teotônio Vilela (Fonte: Autores, 2025).



Figura 9 - Fachada lateral direita do teatro Teotônio Vilela (Fonte: Autores, 2025).

Os mapas de danos foram desenvolvidos no AutoCAD, o primeiro mapa, representado na Figura 10, apresenta fachada frontal. Nota-se, a presença de vegetação na parte superior, indicada pelo número 6, o qual classificou-se como grau leve. Em seguida, é notada a presença de sujidades indicadas pelo número 5, também classificado como grau leve com quatro ocorrências (expressos em números romanos). Também é percebida a alteração cromática na parede do lado esquerdo do desenho. A seguir foram identificadas, a presença de manchas de eflorescências na parte superior do edifício e ao redor das janelas, representados pelo número 2 e classificados como grave, totalizando doze ocorrências, um problema recorrente em edificações de baixa impermeabilização.

Por fim, constatou-se o desplacamento de camada cimentícia (em diferentes proporções) em toda extensão da parede, representado pelo número 7, e classificado como grave, pois representa a perda de aderência dos materiais que compõe o revestimento da estrutura.

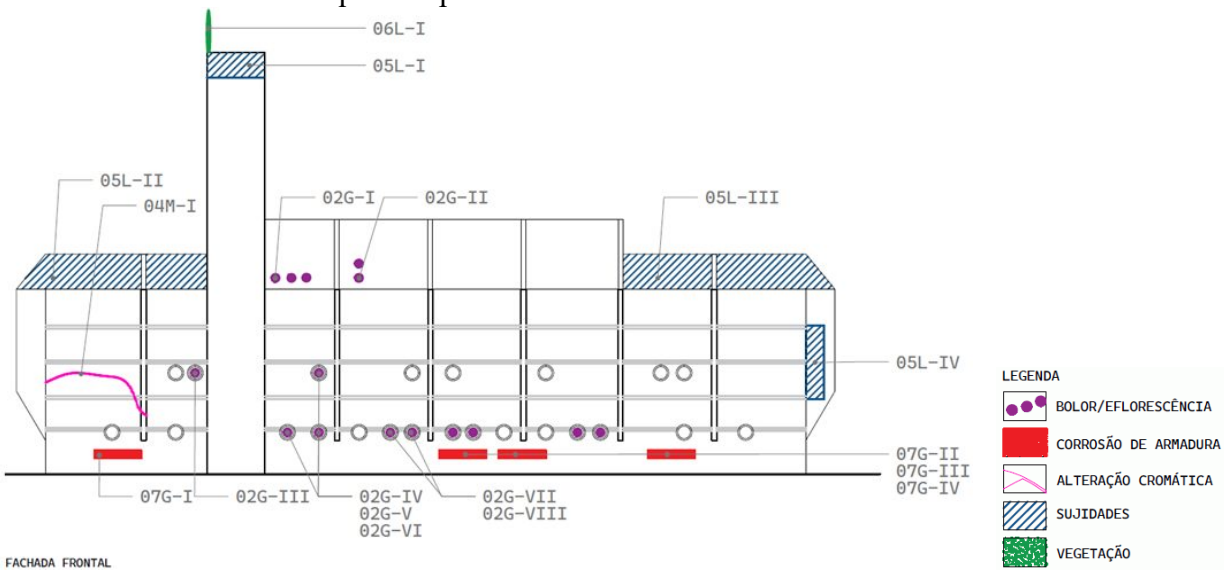


Figura 10 - Fachada frontal do teatro Teotônio Vilela (Fonte: Autores, 2025).

O segundo mapa, representado na Figura 11, apresenta a fachada lateral esquerda do teatro. Ao observá-lo, nota-se regularidade nas patologias identificadas. Verificou-se a presença de vegetação, apresentada pelo número 6 é classificado como grau leve, que se localiza na parte superior do edifício, revelando a falta de cuidado e manutenção básica do teatro. Posteriormente, ao longo da superfície é percebida a presença de sujidades, indicada pelo número 5 é classificado como leve, com cinco registros evidentes (expressos em números romanos). Em seguida é evidenciada a alteração cromática na parede, apresentada pelo número 4 e classificado como grau moderado. Na sequência, ao lado direito do mapa é vista a presença de armadura exposta no teto, apresentada pelo número 3 é classificado como grave. Em seguida, ao lado esquerdo, observam-se a presença de bolores e marcas de eflorescência, representados pelo número 2 e classificados como graves. Na região inferior da parede, constatou-se a ocorrência de fissuras (número 1), enquadradas como manifestações patológicas de grau grave. Ademais, na mesma área, foram identificadas sujidades (número 5) e presença de vegetação (número 6).

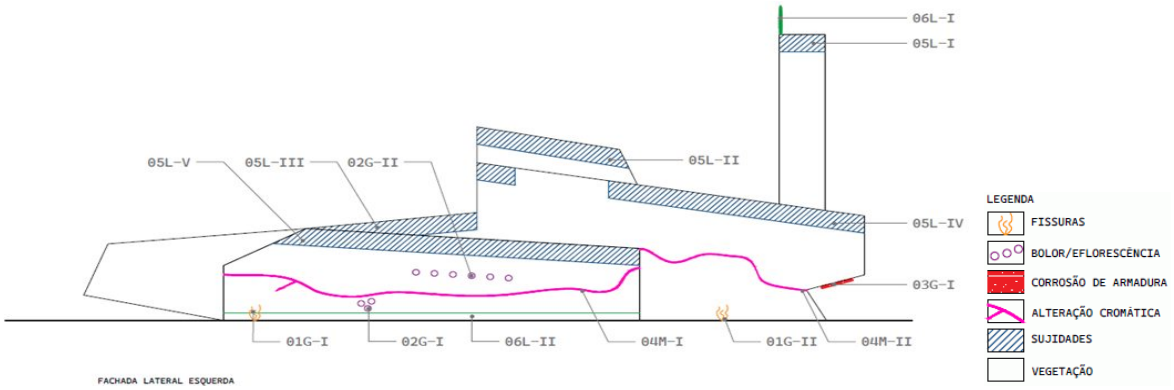


Figura 11 - Fachada lateral esquerda do teatro Teotônio Vilela (Fonte: Autores, 2025).

O terceiro mapa, representado na Figura 12, apresenta a lateral direita do teatro. Ao analisá-lo, nota-se a presença de vegetação aparente na cobertura, assim como nos outros mapas, indicada pelo número 6 e classificado como grau leve. Em seguida, é notada a presença de sujidades indicadas pelo número 5 e classificada como grau leve com seis ocorrências (expressos em números romanos). A seguir, evidenciou-se a alteração cromática na parede do lado esquerdo do desenho, e por toda a extensão da fachada. Depois, foram identificadas a presença de manchas de eflorescências no teto da localidade da porta e manchas de bolor nas janelas, indicadas pelo número 2 e classificadas como grave. E por fim, foram evidenciadas alterações cromáticas em várias proporções, na parede de toda lateral direita do teatro, indicado pelo número 4 e classificado como moderado.

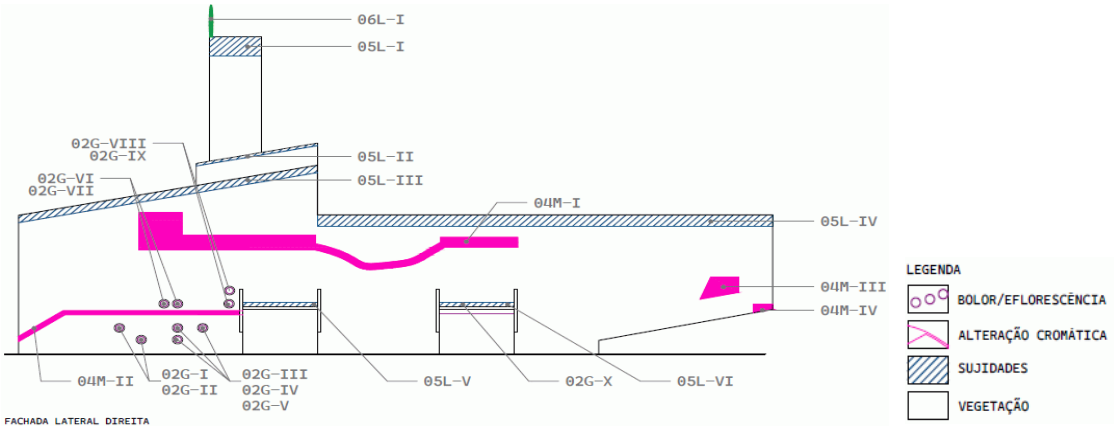


Figura 12 - Fachada lateral direita do teatro Teotônio Vilela (Fonte: Autores, 2025).

4. CONCLUSÃO

O estudo de caso realizado no Teatro Municipal Teotônio Vilela evidenciou a presença recorrente de manifestações patológicas nas fachadas, como fissuras, eflorescências, corrosão de armaduras, desplacamento de camada cimentícia e alterações cromáticas. A sistematização das informações por meio de mapas de danos, aliada à aplicação do método GUT, possibilitou a classificação das anomalias quanto à gravidade, urgência e tendência de evolução, contribuindo para a definição de prioridades de intervenção e para o planejamento de ações corretivas mais assertivas. Sendo as manifestações de maior prioridade de intervenção as fissuras e evidência de bolor e eflorescência, onde ambas somaram 64 pontos no método GUT e foram apontadas como 1ª e 2ª anomalia em ordem de prioridade de intervenção e tratamento imediato. E a presença de vegetação ocupou a 7ª ordem pois é considerada leve e de fácil reparação, pois necessita apenas de limpeza periódica.

A utilização de ensaios não destrutivos, como a esclerometria, a velocidade de pulso ultrassônico e o ensaio de carbonatação, mostrou-se fundamental para complementar a inspeção visual, ampliando a confiabilidade do diagnóstico. Os métodos de diagnóstico permitiram avaliar não apenas as manifestações aparentes, mas também as condições internas e qualidade do concreto, para que sejam abordadas intervenções adequadas com o estado de conservação da estrutura.

Conclui-se, portanto, que a adoção de inspeções de manutenção periódicas podem ser o melhor caminho para evitar o aparecimento das nomeadas manifestações patológicas, pois preservam o valor histórico e cultural da edificação, a estratégia contribui para a extensão de sua vida útil, para a segurança dos usuários e para a racionalização dos recursos públicos, reforçando a importância do planejamento técnico como instrumento de sustentabilidade na conservação do patrimônio construído.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia de Portugal (FCT) sob os projectos UID/4131/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04131/2025) e UID/PRR/4131/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/PRR/04131/2025).

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. E. F.; CARVALHO, F. M.; SANTANA, K. A.; RODRIGUES, M. D. A.; JOVINO, F. G. P.; SALES, J. C. O impacto das manifestações patológicas no patrimônio histórico de Sobral. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 9, 2020. https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-273

CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília, DF: Presidência da República. Recuperado em 14 de junho de 2024, de https://www.jusbrasil.com.br/topicos/10638993/artigo-23-da-constituicao-federal-de-1988

COVATTI, L.; MEDEIROS, A.; FILHO, L. C. P. S.; LORENZI, A.; SOUZA, H. **Ensaio de carbonatação acelerada de corpos de prova de argamassa estrutural e graute impermeabilizados com quatro diferentes produtos.** ALCONPAT Internacional, 2023. https://doi.org/10.21041/CONPAT2023/V3RC8183

HELENE, P. R. L. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo, SP: Editora PINI, 1992.

JEDIDI, M. **Evaluation of the quality of concrete structures by the rebound hammer method.** Current Trends in Civil & Structural Engineering, v. 5, p. 5, 2020. https://doi.org/10.33552/CTCSE.2020.05.000621

KIM, H.; YANG, S.; NOGUCHI, T.; YOON, S. **An Assessment of the Structural Performance of Rebar-Corroded Reinforced Concrete Beam Members**. Applied Sciences, v. 13, p. 19, 2023. https://doi.org/10.3390/app131910927

KNAPP, L. M.; OLIVAN, L. I. Classificação de desempenho de edificação habitacional: Método GUT – Estruturas metálicas. *In:* **Anais** do XVIII COBREAP – Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliação e Perícias. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2015.

SILVA, A. L. da.; RIPPER, T. **Manutenção de edificações: Uso de inspeções prediais para garantir segurança e desempenho.** Rio de Janeiro: PINI, 2002.

TEIXEIRA, G. H.; SILVA, J. R.; ALVES, E. **Evaluation of the pathological manifestations of the Rio Negro Building in Anápolis-Goiás.** Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción. Revista ALCONPAT, v. 12, c. 3, p. 433–448, 2022.

RIBEIRO, R. R.; MESQUITA, E. **Redução da carbonatação natural em concretos com proteção acrílica.** Revista de Engenharia Civil, v. 10, c. 2, p. 45–52, 2019. https://www.researchgate.net/publication/337021279

RJ LEE GROUP. 2023. **Nondestructive Concrete Testing with Ultrasonic Pulse Velocity (UPV).** https://www.rjleegroup.com/blog/nondestructive-evaluation-nde-of-concrete-with-upv

TINOCO, J. E. L. 2009. **Mapa de danos: Recomendações básicas.** Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada (CECI).

CAPÍTULO 74 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/ev8sga41
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/41jajq84

MÚLTIPLA CAUSALIDADE EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO: APLICAÇÃO DE MODELO INFERENCIAL EM ESTUDO DE CASO

Lorena Mizue Kihara[1]; Vitor Hugo Astun Dionisio[2]; Helena de Souza Santos[3]
*Autor de contato: vitor.dionisio@uel.br

[1] Adenge Engenharia Diagnóstica
[2] Adenge Engenharia Diagnóstica
[3] Adenge Engenharia Diagnóstica

RESUMO

Estruturas de contenção em concreto armado, especialmente em ambiente urbano consolidado, estão sujeitas à atuação simultânea de agentes hidráulicos, deficiências executivas e ausência de manutenção, configurando quadros típicos de causalidade múltipla. A interpretação monocausal desses fenômenos pode conduzir a diagnósticos incompletos e decisões técnicas inadequadas, particularmente em contexto pericial. O presente trabalho apresenta estudo de caso de muro de arrimo com manifestações estruturais relevantes, no qual se aplicou modelo inferencial integrado para análise de múltipla causalidade. A metodologia combinou indução para levantamento de hipóteses, inferência indutiva associada a matriz multicritério para hierarquização causal, análise contrafactual para mensuração da contribuição relativa dos fatores e abordagem de criticidade estrutural baseada em análise de risco. Os resultados evidenciam mecanismo convergente de aumento de demanda (empuxo hidrostático) e redução de capacidade resistente (falhas construtivas), caracterizando causalidade múltipla. O estudo contribui metodologicamente para a engenharia diagnóstica aplicada a estruturas de contenção, especialmente em contextos de litígio técnico.
Palavras-chave: muro de arrimo; múltipla causalidade; inferência diagnóstica; análise contrafactual; engenharia diagnóstica.

ABSTRACT

Reinforced concrete retaining structures, especially in consolidated urban environments, are subject to the simultaneous action of hydraulic agents, construction deficiencies, and lack of maintenance, configuring typical scenarios of multiple causality. A monocausal interpretation of these phenomena can lead to incomplete diagnoses and inadequate technical decisions, particularly in expert contexts. This work presents a case study of a retaining wall with relevant structural manifestations, in which an integrated inferential model was applied for multiple causality analysis. The methodology combined abduction for hypothesis generation, inductive inference associated with a multicriteria matrix for causal hierarchy, counterfactual analysis for measuring the relative contribution of factors, and a structural criticality approach based on risk analysis. The results show a convergent mechanism of increased demand (hydrostatic thrust) and reduced resistance capacity (construction failures), characterizing non-linear multiple causality. The study contributes methodologically to diagnostic engineering applied to retaining structures, especially in contexts of technical litigation.
Keywords: retaining wall; multiple causality; diagnostic inference; counterfactual analysis; diagnostic engineering.

1. INTRODUÇÃO

A estabilidade de estruturas de contenção em concreto armado depende da adequada interação entre concepção estrutural, qualidade executiva e controle das condições hidráulicas do maciço contido. Souza e Ripper (1998) já destacavam, em obra de referência sobre patologia estrutural, que os problemas patológicos em construções raramente possuem causa única, sendo frequente a coexistência de falhas de projeto, deficiências de execução e ausência de manutenção adequada como origens concorrentes de um mesmo quadro patológico.

Em estruturas de contenção, essa complexidade causal é especialmente pronunciada. Genário *et al*. (2020) demonstraram que a grande maioria dos acidentes envolvendo muros de arrimo está relacionada ao acúmulo de água no maciço, podendo a existência de linha freática não drenada duplicar o empuxo atuante sobre a estrutura. Entretanto, a mera saturação do solo não explica, por si só, quadros de instabilidade estrutural, sendo necessária a coexistência de vulnerabilidades construtivas preexistentes para que o mecanismo de dano se complete (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

No campo da perícia de engenharia, a abordagem da causalidade múltipla assume papel central. Conforme desenvolvido por Grossi (2025b), a atribuição técnica de responsabilidade exige distinção entre causas determinantes, causas concorrentes e fatores agravantes, evitando conclusões simplificadas que não representem adequadamente a realidade técnica e jurídica do caso. A mensuração proporcional das contribuições causais emerge, nesse contexto, como exigência metodológica e ética.

Para o enfrentamento diagnóstico desses casos, a engenharia diagnóstica, sistematizada no Brasil por Gomide *et al*. (2021), propõe a articulação de métodos inferenciais estruturados, que combinem inspeção sensorial, análise documental e raciocínio probabilístico. Grossi (2023) avança nessa direção ao propor modelo de inferência indutiva com matriz multicritério especificamente aplicado a manifestações multicausais decorrentes de umidade. Grossi e Sala (2025), por sua vez, demonstram como a análise contrafactual permite discriminar a contribuição relativa de cada fator causal em estudos de caso com muro de arrimo.

Sob perspectiva da análise de risco, Cruz *et al*. (2022) desenvolveram aplicação da ferramenta FMEA em estruturas de arrimo em concreto armado, identificando que as falhas de maior criticidade estão invariavelmente associadas a deficiências no sistema drenante e à presença de umidade no maciço. Diante desse cenário, este trabalho propõe a aplicação integrada dessas abordagens em estudo de caso real, demonstrando sua eficácia metodológica na análise de múltipla causalidade em estrutura de contenção urbana.

2. FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA

2.1 Raciocínio inferencial e engenharia diagnóstica

A engenharia diagnóstica, conforme sistematizada por Gomide *et al*. (2021), parte da premissa de que o diagnóstico técnico de manifestações patológicas constitui atividade investigativa que demanda método rigoroso, senso crítico e experiência acumulada. Gomide *et al*. distinguem as etapas de inspeção sensitiva, análise de manifestações, formulação de hipóteses e emissão do

diagnóstico, ressaltando que a omissão de qualquer dessas etapas compromete a confiabilidade da conclusão.

Bolina, Tutikian e Helene (2019) reforçam essa perspectiva ao destacar que o patólogo deve articular sistematicamente os sintomas observados, os mecanismos de deterioração reconhecidos na literatura e as evidências coletadas *in loco*, evitando tanto o diagnóstico precipitado quanto a omissão de causas relevantes. Os autores enfatizam que problemas de origem múltipla são a regra, não a exceção, nas manifestações patológicas de estruturas de concreto armado.

Nessa linha, Souza e Ripper (1998) estabeleceram que os fatores geradores de problemas patológicos podem ser agrupados em: falhas de projeto (subdimensionamento, especificações inadequadas), falhas de execução (má concretagem, ausência de cobrimento adequado, armaduras incorretas) e falhas de manutenção (ausência de inspeções periódicas, reparos intempestivos). A contribuição de cada grupo de fatores para o quadro final de deterioração varia caso a caso, exigindo avaliação técnica individualizada.

O diagnóstico técnico de manifestações patológicas pode ser estruturado a partir da lógica inferencial clássica, composta por abdução, indução e dedução. Conforme discutido por Grossi (2023), a abdução permite o levantamento inicial de hipóteses a partir de indícios observados; a indução possibilita generalização probabilística com base nos dados coletados; e o método hipotético-dedutivo viabiliza, quando aplicável, a testagem direta de hipóteses. Esses três modos de raciocínio não se excluem, devendo ser articulados de forma complementar ao longo do processo diagnóstico.

2.2 Inferência indutiva e análise contrafactual

Em contextos onde ensaios destrutivos ou modelagens estruturais completas não são viáveis e situação recorrente em perícias de engenharia, a matriz multicritério permite ponderação sistemática de hipóteses concorrentes, considerando variáveis como mecanismo de transporte, área exposta, tempo de permanência e estanqueidade dos elementos (GROSSI, 2023). A adoção desse instrumento reduz a influência de vieses cognitivos do perito e confere maior rastreabilidade ao raciocínio diagnóstico.

A análise contrafactual, por sua vez, fundamenta-se na simulação de cenários hipotéticos de exclusão de determinado fator, avaliando se o dano ocorreria na sua ausência (GROSSI; SALA, 2025). Tal abordagem é particularmente relevante em quadros de causalidade múltipla, pois permite identificar se um fator é condição necessária, suficiente ou meramente contributiva para o resultado danoso. O método guarda correspondência com o modelo INUS de causalidade (*Insufficient but Necessary part of an Unnecessary but Sufficient condition*), consagrado na filosofia da ciência como framework para análise de causas complexas.

2.3 Análise de risco em estruturas de contenção

Sob perspectiva estrutural, a aplicação de análise de risco em estruturas de arrimo evidencia que a coexistência de aumento de demanda e redução de capacidade resistente eleva exponencialmente a criticidade do sistema. Cruz *et al*. (2022), aplicando a ferramenta FMEA, identificaram 18 modos de falha possíveis em muros de arrimo, agrupados em seis categorias, sendo que as falhas relacionadas à deficiência de drenagem e à umidade apresentaram os maiores índices de risco. Esse

resultado corrobora dado histórico de Costa Nunes (1975 apud Cruz *et al*., 2022), segundo o qual 33% dos sinistros em estruturas de contenção decorrem de deficiência no sistema drenante.

Estudo experimental quantitativo confirma essa criticidade: Genário *et al*. (2020) demonstraram que empuxos ativos e inclinados na condição saturada sofrem acréscimo de até 87% em relação à condição seca. Esse dado evidencia que a saturação do maciço não é um fator marginal, mas um mecanismo de amplificação de demanda de primeira ordem, capaz de elevar as solicitações estruturais a patamares muito superiores aos considerados no dimensionamento original.

No âmbito da mensuração de responsabilidades, Grossi (2025b) propõe metodologia de quantificação proporcional aplicada a casos de causalidade múltipla, baseada na identificação e ponderação das contribuições individuais de cada agente, projetista, executor, incorporador ou usuário, para a produção do dano. Essa abordagem é especialmente relevante em contextos litigiosos, onde a distribuição equânime de responsabilidades exige fundamentação técnica sólida.

3. METODOLOGIA APLICADA

A metodologia estruturou-se em quatro etapas sequenciais e interdependentes:

(i) Levantamento de hipóteses por abdução, com base em inspeção sensorial do muro, análise documental do histórico construtivo e entrevistas com partes envolvidas, visando à formulação das hipóteses causais plausíveis;
(ii) Aplicação de inferência indutiva com matriz multicritério, atribuindo pesos relativos às variáveis de mecanismo de transporte, tempo de permanência, área de exposição e conformidade executiva, para hierarquização das hipóteses levantadas (GROSSI, 2023);
(iii) Aplicação de análise contrafactual, simulando a exclusão individual de cada fator identificado e avaliando a plausibilidade de ocorrência do dano em cada cenário hipotético (GROSSI; SALA, 2025);
(iv) Avaliação da criticidade estrutural sob ótica de risco, identificando a interação entre os fatores de demanda aumentada e de capacidade reduzida, com referência ao modelo FMEA proposto por Cruz *et al*. (2022).

4. ESTUDO DE CASO

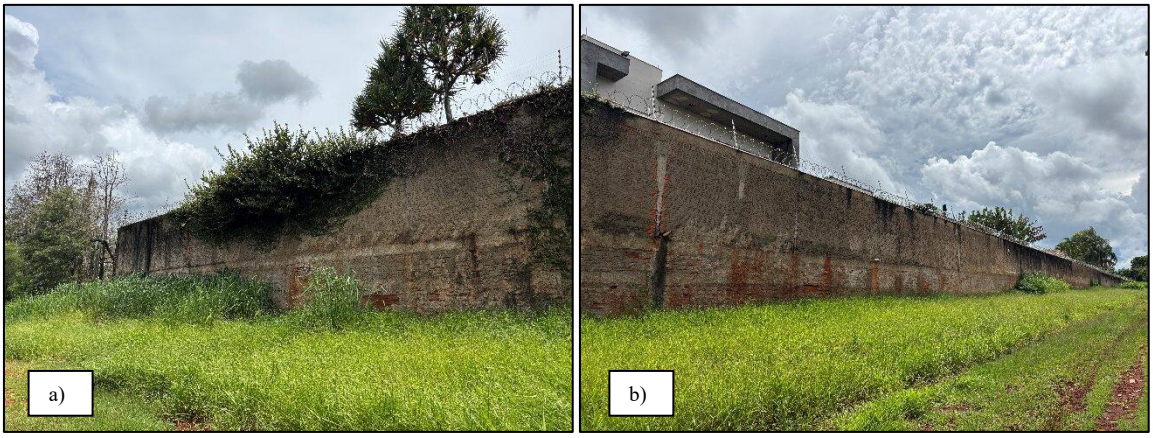
4.1 Caracterização do objeto

O muro de arrimo objeto do estudo localiza-se em área urbana consolidada, sendo parte integrante de condomínio horizontal, executado em concreto armado e blocos de vedação cerâmicos furados, com altura superior a 3,0 m, contendo maciço terroso em terreno aterrado. A estrutura foi construída em desconformidade com o projeto estrutural existente, além de terem sido constatadas falhas de origem endógena na classificação de Souza e Ripper (1998).

À época da vistoria pericial, o muro apresentava deslocamentos horizontais visíveis, fissuração entre elementos construtivos, caracterizando a dessolidarização e movimentação do solo, manchas de umidade extensas na face exposta do aterro e manchas de umidade que indicam a saturação do maciço contido. Não foram identificados drenos funcionais na base ou no corpo da estrutura. A inspeção revelou ainda segregação de concreto em pilares e ninhos de concretagem, sugestivos de

falha na concretagem, consequente exposição de armaduras e corrosão das mesmas, abaulamento do muro e desintegração dos blocos cerâmicos.

Imagem 1 – Vista do muro perimetral aos fundos do condomínio, pelo lado externo. a) Vista do muro aos fundos das casas 02 e 03. b) Vista aos fundos da casa 01



A análise documental não identificou registro de eventos excepcionais isolados, como chuvas anômalas ou sobrecargas pontuais, que pudessem justificar o quadro de forma monocausal. O histórico apontou para degradação progressiva ao longo dos anos, sem intervenções de manutenção preventiva ou corretiva, configurando o que Gomide *et al*. (2021) classificam como falha de manutenção com agravamento progressivo das manifestações patológicas.

Além das anomalias identificadas como de origem endógena, foram constatados dois fatores agravantes: vazamentos recorrentes nas piscinas adjacentes ao muro (todas as residências limítrofes ao muro possuíam piscinas próximas ao muro) e a existência de planta “trepadeira” em partes do muro. Durante a inspeção, foi relatado pelos proprietários das residências que, na Residência 01, houve dois grandes vazamentos, na Residência 02 havia vazamento em investigação, e na Residência 03 foi relatado que, em um curto período de tempo, houve ao menos três vazamentos de grande porte. O rompimento das tubulações em caso de movimentação de solo é comum e coincide com o caso estudado.

Imagem 2 – a) Ninhos de concretagem, armaduras expostas e em estado de corrosão. b) Deslocamento horizontal do muro de arrimo

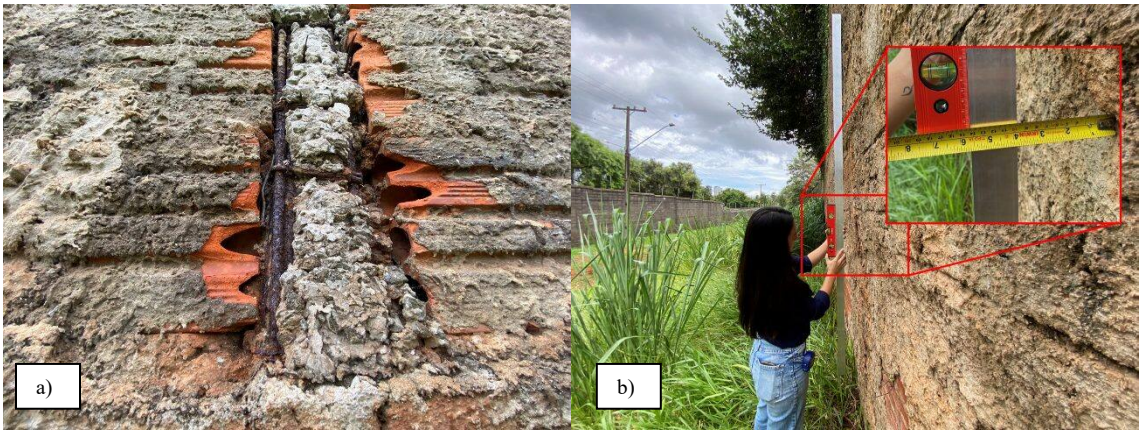
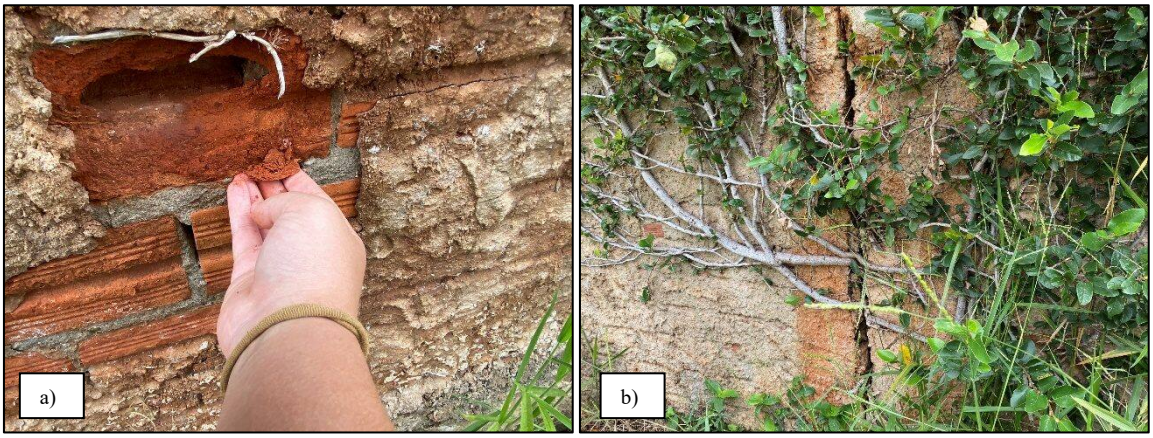


Imagem 3 – Desintegração dos blocos cerâmicos. b) Presença de vegetação advinda da junta de dilatação



Constatou-se também, presença de vegetação bastante desenvolvida nas residências, com origem na Residência 02. A vegetação em questão é a planta *Ficus pumila*, ou "unha de gato", que já apresentava raízes espessas. Além disso, pôde-se observar que seus ramos adentraram nas aberturas que encontraram durante seu desenvolvimento.

4.2 Hipóteses causais identificadas

A validação ou eliminação de hipóteses se deu basicamente por inferência dedutiva ou indutiva, ou seja, demonstração lógica ou empírica.

Hipótese A: refere-se à possibilidade de o tombamento do muro ser decorrente de aumento das pressões hidrostáticas devido ao acúmulo de águas pluviais no tardoz do muro de arrimo (ausência de sistema de drenagem – vício construtivo);
Hipótese B: refere-se à possibilidade de o tombamento do muro ser decorrente das degradações devido ao desenvolvimento da planta "trepadeira".

A Hipótese B foi levantada pelo próprio condomínio e moradores, visto que, caso a Hipótese A se confirmasse, a responsabilidade em relação aos danos seria compartilhada entre condomínio e construtora e, caso a Hipótese B se confirmasse, a responsabilidade recairia sobre o morador da Residência 02.

5. ANÁLISE INFERENCIAL DA MÚLTIPLA CAUSALIDADE

5.1 Inferência indutiva e matriz multicritério

A aplicação da matriz multicritério permitiu hierarquizar as hipóteses com base em quatro variáveis ponderadas: mecanismo de transporte (como a água atingiu a estrutura), tempo de permanência (por quanto tempo o agente atuou), área de exposição (extensão do contato) e conformidade executiva (grau de atendimento às normas técnicas).

A hierarquização resultante é consistente com o padrão observado por Cruz *et al*. (2022) em seu estudo sistemático de modos de falha em muros de arrimo: as falhas associadas à drenagem e à

umidade tendem a apresentar os maiores índices de criticidade justamente porque atuam sobre toda a extensão da estrutura, de forma crônica e de difícil detecção precoce.

5.2 Análise contrafactual

A análise contrafactual foi conduzida pela exclusão hipotética de cada fator, verificando a plausibilidade do cenário resultante, considerando as mesmas hipóteses:

Hipótese A: refere-se à possibilidade de o tombamento do muro ser decorrente de aumento das pressões hidrostáticas devido ao acúmulo de águas pluviais no tardoz do muro de arrimo (ausência de sistema de drenagem – vício construtivo);

Hipótese B: refere-se à possibilidade de o tombamento do muro ser decorrente das degradações devido ao desenvolvimento da planta “trepadeira”.

Tabela 1 - Análise contrafactual

CRITÉRIO TÉCNICO AVALIADO	Hipótese 1	Hipótese 2
Atua diretamente no solo	Sim	Não
Atua diretamente no muro de arrimo	Sim	Sim
Altera o regime de tensões no solo	Sim	Não
Aumenta empuxo lateral	Sim	Não
Induz recalques diferenciais	Sim	Não
Capacidade de gerar tombamento de muro de arrimo	Alta	Muito baixa
Velocidade de progressão do dano	Rápida	Lenta
Papel na instabilidade global do muro	Máxima	Mínima

Sendo assim, é notório que os vícios construtivos são causa necessária para o desencadeamento dos problemas. Em um cenário em que não houvesse falhas construtivas, sistema drenante funcionando corretamente, as tubulações das piscinas não teriam se rompido, gerando acréscimo de empuxo hidrostático sobre a estrutura de contenção.

Os vícios construtivos atuam como causa primária no tombamento do muro, sendo a movimentação do solo e rompimento das tubulações as concausas mais relevantes, ou seja, causas secundárias que retroalimentam o ciclo. As vegetações são consideradas como fatores agravantes secundários, de baixo impacto nesse caso, já que exploraram fissuras e descontinuidades preexistentes, sem, contudo, configurar a causa primária dos danos estruturais.

Ambos são causas concorrentes e determinantes, caracterizando causalidade múltipla convergente, conforme a terminologia adotada por Grossi (2025b). Esse padrão alinha-se à proposição de Souza e Ripper (1998) de que problemas patológicos graves tipicamente resultam da combinação de falhas em mais de uma fase do ciclo de vida da construção.

5.3 Criticidade estrutural e mensuração das contribuições

O mecanismo observado configura convergência entre aumento de demanda (empuxo hidrostático por saturação do maciço devido ao rompimento das tubulações das piscinas) e redução de capacidade resistente (falhas construtivas), coerente com os modelos de criticidade estrutural discutidos por Cruz *et al*. (2022) e com o diagnóstico sistêmico proposto por Gomide *et al*. (2021). Essa convergência é caracteristicamente: o aumento simultâneo de demanda e a redução de resistência produzem efeito sinérgico, amplificando o risco através da soma das contribuições individuais.

Sob perspectiva pericial, trata-se de causalidade múltipla convergente, para a qual a abordagem de mensuração proporcional defendida por Grossi (2025b) é especialmente adequada. Considerando os resultados da matriz multicritério e da análise contrafactual, estimou-se que a deficiência de drenagem responde por parcela preponderante da demanda excedente, agravada pela amplificação dos empuxos em condição saturada, enquanto as falhas construtivas respondem pela redução crítica de capacidade resistente.

6. CONCLUSÃO

O caso analisado evidencia que a instabilidade do muro de arrimo decorre da interação entre deficiência de drenagem, que elevou o empuxo hidrostático a níveis críticos e falhas construtivas graves, que reduziram a capacidade resistente da estrutura aquém do necessário. O rompimento de tubulações das piscinas, causado pela consequente perda de resistência e movimentação do solo, agravou o cenário, tornando-se um ciclo que é retroalimentado. As vegetações são consideradas como fatores agravantes secundários, de baixo impacto nesse caso, já que exploraram fissuras e descontinuidades preexistentes, sem, contudo, configurar a causa primária dos danos estruturais. Esse padrão multicausal é consistente com o que a literatura especializada, de Souza e Ripper (1998) a Bolina, Tutikian e Helene (2019), reportam como característica típica das patologias em estruturas de concreto armado.

A aplicação integrada de inferência indutiva, matriz multicritério e análise contrafactual demonstrou-se eficaz para a discriminação das contribuições causais, conferindo robustez e rastreabilidade ao diagnóstico técnico. A abordagem supera a interpretação monocausal, frequentemente adotada em perícias de engenharia por razões de simplicidade, mas que falha em representar adequadamente a complexidade real dos fenômenos patológicos em estruturas de contenção.

O estudo reforça a necessidade de adoção de modelos inferenciais estruturados na engenharia diagnóstica, nos moldes propostos por Gomide *et al*. (2021), aplicados a estruturas de contenção, especialmente em contextos periciais, onde a correta atribuição de causas e responsabilidades tem consequências técnicas, jurídicas e econômicas relevantes. A metodologia aqui apresentada é replicável e pode ser sistematizada como protocolo de análise em casos similares, contribuindo para o avanço da engenharia diagnóstica forense no Brasil.

REFERÊNCIAS

BOLINA, Fabrício Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo Roberto do Lago. *Patologia de estruturas.* São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 320 p. ISBN 978-85-7975-339-8.

CRUZ, R. B. C.; SANTOS, F. A.; SOUZA, J. B.; KHALIL, J. A.; CARVALHO, R. M. G.; FILHO, A. M. Método para análise do risco em estruturas de arrimo em concreto armado. *Engenharia Civil UM*, Guimarães, n. 57, p. 36–49, 2022. DOI: 10.21814/ecum.4190.

GENÁRIO, D. C. F.; LOPES, P. H. C.; MILLER, C. P.; LIMA, A. C.; SOUZA, V. B. Estrutura de contenção: muro de arrimo por flexão para estabilização de encostas. *Revista Interdisciplinar Pensamento Científico*, v. 5, n. 5, 2020.

GOMIDE, Tito Lívio Ferreira; DELLA FLORA, Stella Marys; BRAGA, Antonio Guilherme Menezes; GULLO, Marco Antonio; FAGUNDES NETO, Jerônimo Cabral Pereira (coord.). *Manual de Engenharia Diagnóstica.* 2. ed. São Paulo: Leud, 2021. 432 p. ISBN 978-85-7456-397-8.

GROSSI, Marcus Vinícius Fernandes. Inferência indutiva para diagnóstico de manifestações patológicas decorrentes de umidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 17., 2023, São Paulo. *Anais [...].* São Paulo: IBI – Instituto Brasileiro de Impermeabilização, 2023.

GROSSI, Marcus Vinícius Fernandes; SALA, Giovanna Apolinário. Métodos diagnósticos na perícia de engenharia: um estudo de caso sobre umidade em muro de arrimo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 18., 2025, São Paulo. *Anais [...].* São Paulo: IBI – Instituto Brasileiro de Impermeabilização, 2025.

GROSSI, Marcus Vinícius Fernandes. Mensuração de responsabilidades em causalidade múltipla em casos de anomalias construtivas: fundamentos, métodos e aplicações práticas. *Revista Brasileira de Engenharia de Avaliações e Perícias*. São Paulo: IBAPE Nacional, 2025b.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.* São Paulo: Pini, 1998. 255 p. ISBN 85-7266-096-8.

CAPÍTULO 75 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/q1gsxg20
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/rdqjw981

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL

ANALYSIS OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS IN A RESIDENTIAL BUILDING

F. D. C. de Faria[1], L. Lourenço Neto [2], K. C. B. Moreira[2]
Pós-Graduação em Ergonomia e Trabalho, FACUMINAS, Coronel Fabriciano, Brasil[1] ;
Departamento de Engenharia Civil, IESC FAG, Guaraí, Brasil; [2]

RESUMO

A prática de construir residências como abrigo remonta à antiguidade na história humana. Na contemporaneidade, os avanços nos aspectos construtivos resultaram na evolução dos materiais usados na construção civil, trazendo benefícios substanciais. Contudo, desafios como a escassez de mão de obra qualificada, técnicas de execução ineficientes e a utilização de materiais de qualidade questionável prejudicam as construções. Isso, por sua vez, propicia o surgimento de manifestações patológicas, acarretando desconforto e riscos à segurança. O presente artigo consistiu em um estudo de caso que se reafirma seus pontos através da pesquisa bibliográfica. O período de construção do artigo foi entre maio de 2023 e março de 2024. A visita de campo foi realizada para o levantamento das manifestações encontradas, a investigação de suas causas foi feita através da anamnese e foi fundamentada com base na revisão bibliográfica. Os resultados obtidos apontaram as principais manifestações patológicas encontradas in loco. As principais manifestações encontradas durante a visita foram: Infiltração, gretamento, fissuras, descolamento de piso e bolor.
Palavras-chave: Patologia das construções; Manifestações Patológicas; Edificações residenciais.

ABSTRACT

The practice of building homes as shelter dates back to ancient human history. In contemporary times, advances in construction aspects have resulted in the evolution of materials used in civil construction, bringing substantial benefits. However, challenges such as the shortage of qualified labor, inefficient execution techniques and the use of materials of questionable quality hamper construction. This, in turn, leads to the emergence of pathological manifestations, causing discomfort and safety risks. This article consisted of a case study that reaffirms its points through bibliographical research. The article's construction period was between May 2023 and March 2024. The field visit was carried out to survey the manifestations found, the investigation of their causes

was carried out through anamnesis and was based on a bibliographic review. The results obtained pointed out the main pathological manifestations found in situ. The main manifestations found during the visit were: Infiltration, cracking, fissures, floor detachment and mold.
KeysWords: Construction pathologies; Pathological Manifestations; pathological manifestations in homes.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de habitação surge com o uso de formações geológicas para fazer de abrigo. Com o desenvolvimento da tecnologia, o homem passou a utilizar materiais disponíveis no ambiente para tornar as moradias mais práticas e refinadas. Mesmo com todos os avanços tecnológicos, sua função sempre permaneceu a mesma: proteger-se das intempéries e intrusos (Buonfiglio, 2018).

As construções em geral têm um ciclo de vida útil, porém alguns critérios podem acelerá-lo ou retardá-lo. Estudos apresentam três requisitos básicos para obter uma boa construção e evitar dor de cabeça: um bom projeto, execução e reparos à medida que o tempo exige (Heerdt; Pio; Bleichvel, 2016).

Com a crescente quantidade de novos materiais no mercado, nem sempre devidamente testados e em conformidade com os requisitos e critérios de desempenho, a probabilidade de surgimento de manifestações patológicas também é crescente (Oliveira, 2013).

Os problemas de origem patológica estão relacionados a falhas ocorridas em alguma fase do processo construtivo, podendo essa falha ser na concepção, execução ou na utilização da construção (Ferreira *et. al*, 2018).

O conhecimento das propriedades dos materiais também é de grande importância dentro desse contexto, bem como a avaliação de suas características físicas e químicas. A incorreta aplicação desses materiais e o mal entendimento de suas características são causas de muitos problemas patológicos e de manutenção (Oliveira, 2013). Devido ao crescimento exorbitante da indústria da construção, muitas estruturas apresentam desempenho insatisfatório por falhas involuntárias, imperícias, a má utilização dos materiais, envelhecimento natural, erros de projetos, enfim vários fatores contribuem para a degradação da estrutura (Arivabene, 2015).

A qualidade, como um todo, não pode prescindir da qualidade na aquisição dos materiais no canteiro de obra. Devido ao uso de materiais das mais diversas origens, torna-se fundamental exigir que esses tenham a qualidade garantida. (Oliveira, 2013).

O presente artigo tem o objetivo de identificar as principais manifestações patológicas encontradas em um condomínio que abriga 10 famílias. A identificação de manifestações patológicas é de suma importância para que sejam tomadas medidas de forma mais rápida possível evitando o agravamento das mesmas e possíveis riscos ao conforto e segurança dos moradores.

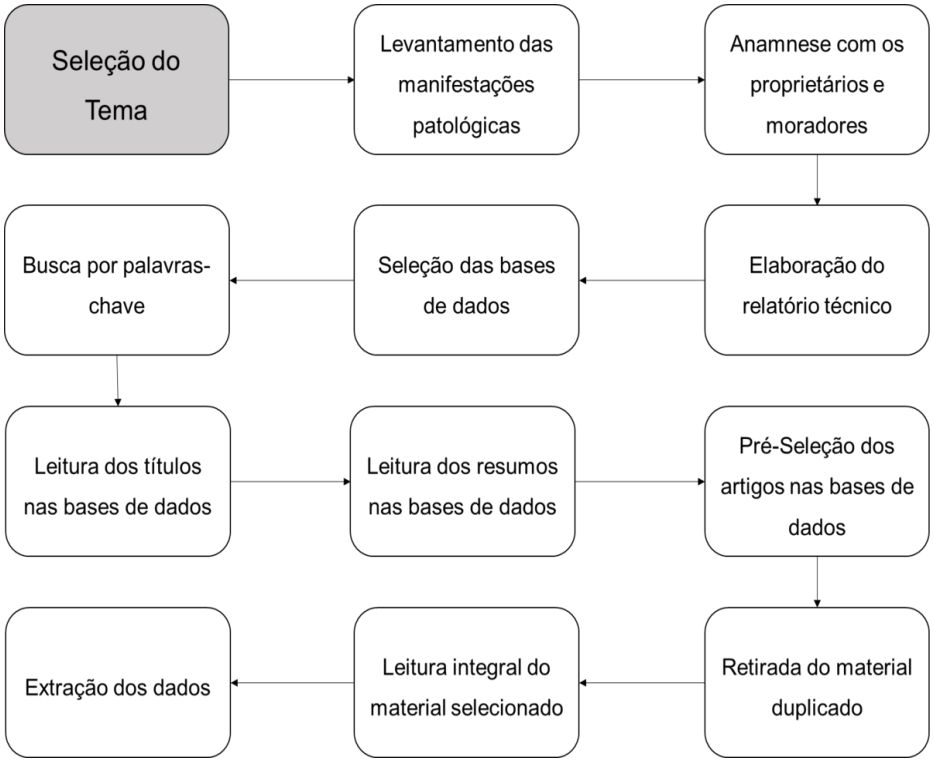
2. METODOLOGIA

A pesquisa é um estudo de caso com resultados de caráter qualitativo fundamentado por meio de referencial teórico. Através do referencial bibliográfico buscou-se conhecimentos sobre as manifestações patologias, bem como o que as causam e suas medidas mitigadoras. A análise referencial foi feita de forma descritiva, buscando descrever os procedimentos utilizados para identificação das manifestações patológicas, suas causas e tratamentos. A pesquisa bibliográfica é

uma das etapas da investigação científica e por ser um trabalho minucioso requer tempo, dedicação e atenção por parte de quem resolve empreendê-la (Pizzani *et. al*, 2012).

Os procedimentos foram realizados entre maio de 2023 e março de 2024. A elaboração do presente artigo se fez a partir de uma visita técnica, onde após a constatação das manifestações foi feita a busca pelo conteúdo que se adequava ao tema, os artigos, teses e demais documentos foram pré-selecionados pelo título, depois fez-se a leitura dos resumos para fazer-se a filtragem, somete após essa etapa o documento era lido de forma integral. Na Figura 1 estão descritos os procedimentos metodológicos realizados na presente pesquisa.

Figura 1- Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



Fonte: os autores.

Diante da visita técnica no local e da anamnese com o proprietário e os residentes no condomínio, foi realizada a anamnese, sendo essa etapa responsável pelo levantamento do histórico da construção. Esse método faz uso de entrevistas com usuários, construtores e projetistas da edificação, mostrando-se uma maneira altamente humana e empírica de análise do problema e pré-diagnóstico (Do Carmo, 2003). Segundo Helene (2003), a coleta de informações no local deve seguir o princípio de obter o máximo de dados com o mínimo de indícios.

O estudo de caso foi feito com base em uma entrevista com os proprietários e usuários da edificação, a filtragem dos documentos foi feita de forma a serem usados somente os dados relevantes para a pesquisa. As duas abordagens aconteceram após a visita técnica para um melhor entendimento das causas relacionadas às manifestações patológicas encontradas.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Manifestações Patológicas

A patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema (Oliveira, 2013). Os fenômenos patológicos geralmente apresentam manifestações externas características, a partir das quais se pode deduzir a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos (Helene, 2003).

O problema é identificado de modo geral a partir das manifestações ou sintomas patológicos que se traduzem por modificações estruturais e ou funcionais no edifício ou na parte afetada, representando os sinais de aviso dos defeitos surgidos (Oliveira, 2013).

A identificação e diagnostico de manifestações patológicas é relativamente fácil de fazer, já que normalmente são perceptíveis mesmo para quem não possui conhecimento a respeito, porém, o maior problema está em se identificar os seus causadores e encontrar amaneira mais adequada para se resolver o problema (Gonzales, Oliveira, Dos Santos; 2020). Os problemas patológicos, salvo raras exceções, apresentam manifestação externa característica, a partir da qual se pode deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, assim como pode-se estimar suas prováveis consequências (Oliveira, 2013).

As manifestações, uma vez conhecidas e corretamente interpretadas, podem conduzir ao entendimento do problema, possibilitando a sua resolução a partir de uma intervenção, cujo nível estará vinculado, principalmente, à relação entre o desempenho estabelecido para o produto e o desempenho constatado (Oliveira, 2013).

3.2 Manifestações relacionadas à água

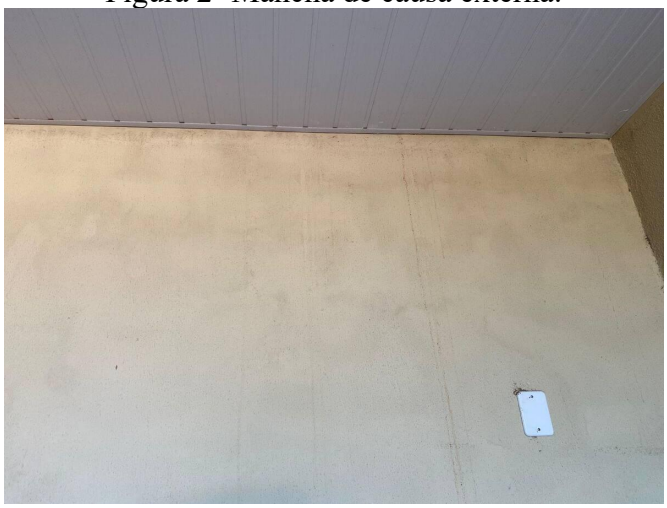
A infiltração causada por água é uma das mais recorrentes, ocasionando manifestações patológicas como o aparecimento de manchas de umidade nas paredes. As soluções para problemas como estes são mais difíceis e podem ocasionar prejuízos que comprometem a funcionalidade da edificação, causando desconforto dos moradores e/ou usuários. Em alguns casos pode até mesmo causar danos em equipamentos no interior da edificação, bem como também pode afetar a saúde de quem faz uso do local (Civilização Engenharia, 2018).

Quanto às infiltrações nas paredes, pode-se dizer que este é considerado o problema mais grave em uma construção civil. A infiltração num geral é a ação de líquidos no interior das estruturas construídas (Zamboni, 2013).

3.2.1 Infiltração

De acordo com Zamboni (2013), as infiltrações podem ser de causa interna (causadas por problemas no próprio apartamento ou apartamento vizinho), e de causa externa (ações da chuva e umidade do solo). O autor ainda destaca que, independentemente da causa das infiltrações, estas podem causar inúmeros estragos, como descascar as paredes, estourar revestimentos de parede e piso, degradar tetos em gesso, gerar mofos em geral e agredir as esquadrias externas. Na Figura 2, é possível identificar as manchas na parede de causas externas.

Figura 2- Mancha de causa externa.



Fonte: os autores.

Já na Figura 3, é possível notar uma macha de causa interna, que foi diagnosticada através de anamnese com o morador, onde o mesmo indicou que havia vazamento de água no banheiro e acabou manchando a parede externa.

Figura 3- Mancha de causa interna.

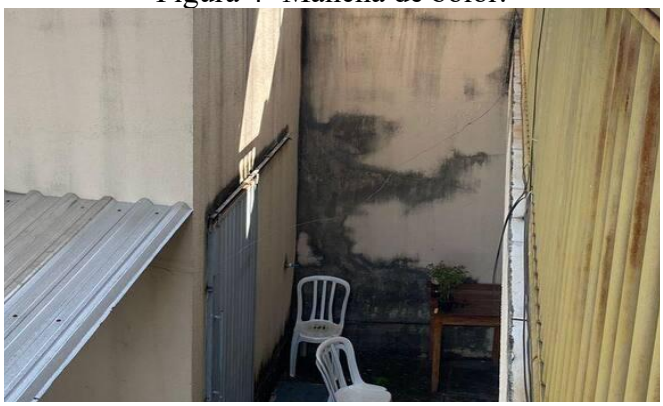


Fonte: os autores.

3.2.2 Bolor

"O termo bolor ou mofo é entendido como a colonização por diversas populações de fungos filamentosos sobre vários tipos de substrato, citando-se inclusive as argamassas inorgânicas" (Lottermann, 2013). Cômodos com muita umidade, que tenham contato direto com a água e que não recebem luz solar com muita frequência, correm o risco de ficarem mofados com o passar dos anos. O bolor é tóxico à saúde humana e pode tomar conta das paredes, do piso e até dos móveis (Hussein, 2013). O bolor encontrado durante a visita técnica é mostrado na Figura 4.

Figura 4- Mancha de bolor.



Fonte: os autores.

3.3 Fissuras

Perdendo em número de ocorrências somente para problemas de umidade, as fissuras são a segunda manifestação patológicas mais recorrente. Essas associadas a infiltração podem acabar gerando manchas acompanhadas pela formação de vesículas (Ferreira *et. al,* 2018).

As mesmas podem ser causadas pelo movimento dos materiais após o processo de enrijecimento, fazendo com que de fato, rachem. Essas fissuras podem ter diversas origens sendo algumas delas: recalque e fundação, movimentação térmica, sobrecarga ou acúmulos de tensões, deficiências no revestimento (Gonzales, Oliveira, Dos Santos; 2020).
Através das Figuras 5 A e 5 B é possível notar as fissuras por sobrecarga, no caso da Figura 5 A, a fissura é no local de encontro da laje do 2° andar, na Figura 5 B a fissura é embaixo de uma janela.

Figura 5 – Fissuras.

5 (A) 5 (B)



Fonte: os autores.

3.4 Destacamento de piso

O destacamento de piso pode ser definido como a cerâmica perdendo aderência, causada pela argamassa de assentamento (também conhecida como argamassa colante) ou do substrato. Essa ocorrência deve-se as tensões que podem ser superiores as estabelecidas entre a placa cerâmica e a pasta escolhida para gerar aderência. A identificação desse tipo de manifestação dá-se pelo som cavo (oco) na placa cerâmica ou através do estufamento da camada de acabamento (Oliveira, 2010).

O desolamento do piso caracterizado pelo som cavo conforme demonstrado pela Figura 6, complementado por anamnese com morador foi possível ter conhecimento que a água da chuva acaba infiltrando por debaixo da peça de cerâmica. Através de uma entrevista com os proprietários foi possível constatar o motivo de incidência, durante a construção do prédio, na etapa de assentamento de cerâmicas foi utilizado uma argamassa diferente naquela região e a suspeita é que a mesma estivesse vencida.

Figura 6- Descolamento de piso.

(A) (B)



Fonte: os autores.

3.5 Gretamento

O gretamento pode ser definido como uma fissura mapeadas causada geralmente por retração hidráulica, originado pelas reações exotérmicas de hidratação da argamassa que fazem com a água evapore de forma mais rápida. Podendo ser causada também por excesso de finos. A tendência de fissuras mapeadas também é aumentada pelo excesso de cimento na composição das argamassas. O gretamento identificado durante a visita técnica demonstrado na Figura 7, foi encontrado na estrutura que suporta a caixa d'água no residencial.

Figura 7 – Gretamento em estrutura de caixa d'água.



Fonte: os autores.

3.6 Manutenção e terapias sugeridas

Compreende-se como manutenção o conjunto de ações essenciais para assegurar o desempenho em níveis satisfatórios. Em outras palavras, consiste em uma série de procedimentos destinados a prolongar a vida útil de um projeto, buscando otimizar custos. A manutenção de estruturas é considerada um dos elementos fundamentais no processo de construção de edificações, tão relevante quanto a própria execução, com o propósito de prevenir o surgimento de patologias (Souza; Ripper, 1998).

Se a construção já está pronta, em uso e começa a apresentar problemas como trincas, fissuras, excesso de umidade, aí sim é hora de procurar um bom profissional da área da construção civil, para realizar vistorias e buscar a melhor solução para o caso. Pois as manifestações patológicas, na maioria das vezes, são um aviso de que a construção está sofrendo alguma alteração e que em alguns casos pode oferecer riscos aos moradores (Heerdt; Pio; Bleichvel, 2016).

3.6.1 Terapia para infiltração

As infiltrações podem ser classificadas em dois tipos conforme sua influência, sendo estas de forma interna ou externa. No caso apontado pela visita técnica a infiltração externa ocorreu excesso de chuva ocorrido em um dia atípico, a terapia sugerida é a aplicação de rufos para evitar que tal fato volte a recorrer.

A infiltração de influência interna foi causada pelo vazamento de água do banheiro, onde por meio de vistoria constatou-se rachaduras no rejunte dos pisos. Portanto, a terapia sugerida é a correção e reaplicação do rejunte, garantindo que o piso recupere o efeito de estanqueidade.

3.6.2 Terapia para bolor

A terapia recomendada por Zuchetti (2015) é a limpeza da superfície com uso de escovas e produtos à base de cloro, a secagem da superfície e a eliminação da infiltração de umidade, tornando assim o ambiente menos propenso a recorrência desse evento.

Outro autor que ressalta a ideia para a terapia no caso do bolor é Freire (2019), onde apresenta que a limpeza do local deve ser efetuada com escova de piassava logo que for identificada com sulfato trissódico, detergente, hipoclorito de sódio e água, evitando assim a proliferação dos fungos para mais áreas.

3.6.3 Terapia para fissuras

Segundo Silva e Godoy (2022), os principais causadores das fissuras podem ser fatores como retração, corrosão de armadura, sobrecargas incluindo flexão compressão, cisalhamento e punção além da reação álcali agregado. A causa original deve ser identificada e assim mitigada, caso seja superficial, a terapia será com a utilização de massa acrílica.

O tratamento desse tipo de patologia demanda a *expertise* de um profissional qualificado com treinamento na área. Para a correção completa, é necessário adotar medidas como a aplicação de fita de poliéster para prevenir novas fissuras, o uso de massa acrílica para regularização da superfície e a pintura com tinta no tom da parede (Casa Dicas, 2016).

3.6.4 Terapia para descolamento de piso cerâmico

Assis (2009) afirma que o descolamento de piso cerâmico pode ser resolvido com a remoção total do revestimento, até chegar ao emboço e a execução correta do serviço. Entretanto, antes desse procedimento, é necessário que a superfície seja limpa para começar a aplicação da argamassa de assentamento.
Para esse caso em específico é recomendada a retirada do piso de toda a área em que se utilizou a possível argamassa vencida. A terapia consiste em remover todos os resquícios da antiga argamassa, limpar bem para que não deixe sujeira para então fazer o assentamento do novo piso cerâmico. Tendo em vista que é um ambiente externo e com incidência recorrente de ação pluvial, sugere-se o uso da argamassa ACIII.

3.6.5 Terapia para Gretamento

O gretamento aparece é visível a olho nu em forma de fissuras que se encontram e acabam por tornar a estética feia e desvalorizada. Indica utilização de material de qualidade inferior na etapa de construção da edificação.

A ação preventiva ocorre durante a fase de preparação, exigindo atenção e controle rigoroso da qualidade dos materiais utilizados na formulação do concreto. Contudo, devido à natureza de uma fissura inativa, é viável selá-la e revesti-la com a camada de acabamento durante o processo de reforma.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa permitiu destacar as principais manifestações patológicas identificadas no estudo de caso desse imóvel. Além disso, através da entrevista com os proprietários foi possível abordar as possíveis causas dessas manifestações, juntamente com propostas de intervenção. As principais manifestações encontradas foram causadas pela água, sendo infiltrações seguidas de fissuras e gretamento, bem como problemas relacionados ao uso de material impróprio (vencido).

Para prolongar a vida útil de uma edificação, os cuidados devem ser tomados não só depois que a edificação está pronta, mas devem ser pensados ainda na fase de projeto. A maior parte dos erros nas construções civis deve-se a má execução, ou seja, o período de construção merece extrema atenção quanto a utilização de materiais e a execução da mão de obra e cura dos elementos.

A partir da identificação da etapa em que se ocorreu o erro (projeto, execução ou depois de pronto) é possível tomar as devidas providências para que o erro não ocorra novamente. O reconhecimento da manifestação é o primeiro passo para então traçar a melhor medida corretiva, mas deve ser feita por profissional.

A importância da identificação precoce de problemas na edificação é relacionada principalmente ao custo para sanar esses problemas, bem como o tempo necessário para que as mesmas sejam reparadas. Quanto antes for identificada e reparada, menor será seu custo e tempo de reparo.

Para pesquisas futuras a efetividade do uso de impermeabilizantes como terapia em casos de manifestações patológicas ocasionadas por infiltrações e umidade merece atenção.

5. REFERÊNCIAS

ARIVABENE, A. C. **Patologias em estruturas de concreto armado estudo de caso.** 2015. Vitória – ES. Especialize, 2015.

ASSIS, D. C. **Causas e origens das patologias no sistema revestimento cerâmico de fachada.** Trabalho de Conclusão de Curso. Campo Mourão: UT FPR. 48 p. 2009.

BUONFIGLIO, L. V. **Habitação de Interesse Social**. v. 17, p. 1 – 16, 2018.

CASA DICAS. Parede com umidade e infiltração, como resolver?. 2016.

CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA. 4 abr. 2018. Disponível em:<https://civilizacaoengenheira.wordpress.com/2018/04/04/conheca-as-principais-patologias-n a-construcao-civi l/>. Acesso em: 23 fevereiro 2024

DO CARMO, P. O.; **Patologia das construções**. Santa Maria, Programa de atualização profissional – CREA – RS, 2003.

FERREIRA, J. B et al. **Manifestações patológicas na construção civil.** Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, v. 5, n. 1, p. 71-71, 2018.

FREIRE, V. P. **Manifestações patológicas presentes em residências habitacionais do município de Nova Jaguaribara-Ce.** 2019.

GONZALES, F. D.; OLIVEIRA, D. L.; DOS SANTOS, M. A**. Patologias na construção civil.** Revista Pesquisa e Ação, v. 6, n. 1, p. 128-139, 2020.

HEERDT, G. B.; PIO, V. M.; BLEICHVEL, N. C. T. P**rincipais patologias na construção civil.** Trabalho de Graduação, Bacharelado em Engenharia Civil-Faculdade Metropolitana de Rio do Sul–UNIASSELVI/FAMESUL, Rio do Sul, 2016.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª ed. São Paulo, Pini, 2003.

HUSSEIN, J. S. M**. Levantamento de patologias causadas por infiltrações devido à falha ou ausência de impermeabilização em construções residenciais na cidade de campo mourão - PR.** 2013. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia Civil, da Coordenação de Engenharia Civil – COECI da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do Título Bacharel, Campo Mourão, 2013.

LOTTERMANN, F. N. da**. Patologias em estruturas de concreto: estudo de caso**. 2013. 66 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado como requisito

parcial para obtenção do titulo de Engenheiro Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

OLIVEIRA, D. F. **Levantamento de causas de patologias na construção civil**. 2013.

OLIVEIRA, W. E. A. **Patologias das construções-revestimentos cerâmicos: revestimentos cerâmicos**. 2010.

PIZZANI, L. et al. A arte da pesquisa bibliográfica na busca do conhecimento. **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v. 10, n. 2, p. 53-66, 2012.

SILVA, A. Y. O.; GODOY, G. H. A. M. **Fissuras no concreto armado: causas, consequências, formas de mitigação e reparos.** 2022.

SOUZA, V. C. de; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª ed. São Paulo, Pini, 1998.

ZAMBONI. I. **Como Lidar Com Infiltrações.** 2013.

ZUCHETTI, P. A. B. **Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale do Taquari/RS.** 2015.

CAPÍTULO 76 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/mw76gz13
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/drbzp188

ANÁLISE TÉCNICA DE REVESTIMENTOS EM UBS

TECHNICAL ANALYSIS OF COATING SYSTEMS IN A PRIMARY HEALTH CARE UNIT

Rhuan Lopes Corrêa[1], Vitoria Lopes Saturnino[1]; Karla Cristina Bentes Moreira[1]*
*Autor de contato: kaarlamoreira@gmail.com

[1] Departamento de Engenharia Civil, IESC FAG, Guaraí, Brasil.

RESUMO

A análise de desempenho das edificações é essencial para garantir que a construção atenda aos requisitos de segurança, funcionalidade, conforto e durabilidade. Este artigo apresenta uma análise de desempenho dos sistemas de revestimento da Unidade Básica de Saúde Josefa Pestana, localizada em Guaraí-TO. Para a realização da pesquisa, foi adotada uma metodologia combinada de estudo de caso e estudo de campo. Por meio de inspeções visuais e registros fotográficos, foram identificadas diversas manifestações patológicas na edificação, como fissuras, trincas, mofo, bolor, empolamento e descascamento da pintura. A avaliação considerou as normas técnicas brasileiras, classificando os revestimentos como comprometidos, regulares ou satisfatórios. Os resultados indicam que o revestimento das paredes apresenta desempenho comprometido, enquanto o piso e o forro de gesso demonstraram desempenho satisfatório. A pesquisa reforça a importância da manutenção preventiva e do cumprimento das normas de desempenho para garantir a durabilidade, segurança e conforto das edificações públicas, especialmente aquelas destinadas à promoção da saúde.

Palavras-chave: Desempenho; Patologia; Revestimentos; Edificação; Unidade Básica de Saúde.

ABSTRACT

The performance analysis of buildings is essential to ensure that construction meets safety, functionality, comfort, and durability requirements. This article presents a performance evaluation of the coating systems of the Josefa Pestana Basic Health Unit, located in Guaraí-TO. The research employed a combined methodology of case study and field study. Through visual inspections and photographic records, several pathological manifestations were identified in the building, such as cracks, mold, mildew, blistering, and paint peeling. The evaluation was based on technical standards, including ABNT NBR 15575, classifying the coatings as compromised, regular, or

satisfactory. The results indicate that the wall coatings show compromised performance, while the flooring and plaster ceiling showed satisfactory performance. The study highlights the importance of preventive maintenance and compliance with performance standards to ensure the durability, safety, and comfort of public buildings, especially those dedicated to health promotion.

Keywords: performance; pathology; coatings; building; Basic Health Unit.

1. INTRODUÇÃO

Em um termo geral, a avaliação de desempenho é um processo sistemático utilizado pelas empresas para medir e analisar o desempenho dos funcionários, em relação às metas e expectativas estabelecidas (Armbrust, 2018).

Na construção civil, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), o objetivo é garantir a segurança, conforto e durabilidade das edificações habitacionais, além de estabelecer critérios para o desempenho acústico, térmico e de segurança ao fogo. A norma estabelece requisitos para os diversos sistemas que compõem uma construção, como estrutura, pisos, vedações, coberturas e instalações. Assim, sendo de suma importância a utilização de normas técnicas de desempenho, de modo que possa elevar o padrão das construções, beneficiando e facilitando para construtores e consumidores finais (ABNT, 2013). Portanto, a Norma de Desempenho, como é conhecida, é uma diretriz para a realização da análise de desempenho em edificação. A fim de avaliar e garantir critérios de qualidade em obra sem grandes problemas no futuro.

Nesse contexto, o estudo de caso surge como uma ferramenta para a compreensão aprofundada do desempenho das edificações escolhidas. A pesquisa visa a identificação de falhas, a avaliação de impactos e a proposição de soluções corretivas e preventivas adequadas. Assim, este artigo apresenta um estudo sobre análise de desempenho dos revestimentos observados na Unidade Básica de Saúde Josefa Pestana. O objetivo é avaliar o desempenho dos sistemas de revestimento como comprometido, regular ou satisfatório e propor medidas de reabilitação, com base em critérios técnicos e normativos.

2. MÉTODO

A avaliação de desempenho em edificações busca verificar como um edifício se comporta durante o uso, dentro de parâmetros como durabilidade, segurança e conforto (Silva; Pereira, 2021, p. 1). A análise de desempenho em edificações pode ser realizada por meio de diferentes métodos complementares. O Perfil de Desempenho da Edificação (PDE) é uma ferramenta que auxilia as construtoras na definição dos níveis de qualidade dos serviços e dos prazos de entrega, promovendo transparência e qualidade conforme as exigências da ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013). Outro método relevante é o ensaio de desempenho, realizado para verificar se a estrutura ou conjunto estrutural está em conformidade com a norma vigente, avaliando aspectos como segurança estrutural, desempenho térmico, acústico e estanqueidade. Por fim, a medição por meio da avaliação pós-ocupacional consiste na observação in loco do desempenho da edificação após a conclusão da construção e na coleta de dados sobre o comportamento dos usuários, sendo fundamental para identificar áreas de melhoria e orientar futuras intervenções.

A atual pesquisa foi pragmática e consistiu na inspeção inicial e a coleta de dados, por meio de instrumentos de medição específicos e os sentidos humano. Para a realização da pesquisa, foi

adotada uma metodologia combinada de estudo de caso e estudo de campo, que permite o aprofundamento detalhado do objeto de estudo. Segundo Gil (2002), o estudo de caso permite um exame profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, possibilitando um conhecimento detalhado do fenômeno do objeto investigado. Já o estudo de campo envolve a observação direta das práticas cotidianas ao objeto estudado, visando compreender suas interpretações e fenômenos, podendo ser utilizados recursos complementares como análise documental, registros fotográficos e audiovisuais.

Essa abordagem integrada permitiu uma compreensão abrangente dos estados de sistema de revestimentos identificados e orientou o processo de avaliação deles. Como material de apoio, foram utilizados artigos científicos e revistas voltados para o tema, assim tendo uma base sólida e experiente sobre o assunto.

3. ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES

As edificações podem passar por diversos problemas relacionados à patologia, ciência que estuda os mecanismos, formas e consequências da ocorrência de falhas e degradações nas estruturas (Souza; Ripper, 1998). Portanto, ao realizar uma análise de desempenho da obra, deve-se identificar e solucionar deficiências, prever comportamentos e, consequentemente, melhorar a qualidade e durabilidade da construção (Mobuss, 2021).

O termo “manifestações patológicas” refere-se a defeitos, falhas ou irregularidades que surgem nas edificações. Essas manifestações podem ser causadas por diversos fatores, como erros de projeto, falhas na execução, uso de materiais inadequados, ausência de manutenção, entre outros (Carvalho, 2023). Compreender o estudo das manifestações patológicas é fundamental para uma análise de desempenho eficaz, pois permite identificar defeitos que comprometem a edificação, investigar suas causas e avaliar de que forma esses problemas afetam o desempenho da edificação (Rocha, 2023).

É comum que haja confusão entre a análise de desempenho e o estudo de manifestações patológicas nas edificações, embora sejam abordagens distintas. Segundo Paiola (2021) análise de desempenho de estruturas envolve avaliar a capacidade de uma estrutura em suportar cargas, resistir forças externas e internas. Já o estudo de patologia, é o estudo de falhas, defeitos ou problemas que comprometem a estrutura, procurando entender a origem e o que causou tal ocorrência apresentando as melhores soluções (Nazário e Zancan, 2011).

Dito isso, a Análise de Desempenho é utilizada para verificar se a estrutura atende aos requisitos de segurança, conforto e resistência, enquanto a patologia visasse a estudar, identificar e corrigir os problemas que podem surgir durante a construção ou após a sua utilização. Sendo correlatas, porém distintas.

Para a realização da análise de desempenho de revestimentos, utilizam-se normas técnicas brasileiras (NBR) como alicerce técnico-científico. Entre as mais relevantes para a temática, destacam-se a NBR 13753 (ABNT, 1996), que estabelece os procedimentos técnicos para aplicação de revestimentos cerâmicos em pisos internos e externos com utilização de argamassa colante, e a NBR 13755 (ABNT, 2017), que define os requisitos necessários para o projeto e execução de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas. Complementando esse conjunto normativo, a NBR 16591 (ABNT, 2017) trata especificamente da execução de forros autoportantes com placas de gesso, abrangendo assim diferentes sistemas de revestimento presentes nas edificações.

A utilização dessas normas estabelece padrões mínimos de desempenho para construções habitacionais, mas também gera novas possibilidades para inovação e o progresso contínuo na construção brasileira.

4. PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UMA ANÁLISE DE DESEMPENHO

As fissuras são pequenas rachaduras ou aberturas superficiais que surgem na superfície da parede (Figura 1). É um tipo de patologia bastante comum em edificações, principalmente na parte de revestimento e estruturas de concreto, interferindo na estética e durabilidade na estrutura (Corsini, 2010).

Figura 1 – Fissura em revestimento argamassado



Fonte: Quartzolit (s.d).

A eflorescência (Figura 3) é a formação de manchas brancas, geralmente ocasionada pela umidade que contém sais solúveis e emerge à superfície, aparecendo em paredes, pisos e revestimentos (Melo, 2009).

A infiltração ocorre quando a água penetra na estrutura da parede, comprometendo a integridade do revestimento provocando bolhas, manchas, descascamento e mofo (Figura 2). A causa pode ser falta de impermeabilização, vazamentos, má instalação de encanamentos ou até mesmo a umidade do solo (Saliba, 2022).

Figura 2 – Sinais de infiltrações no forro de gesso



Fonte: Martec, 2022.

Figura 3 – Sinais de eflorescência em parede



Fonte: EPEC (s.d).

5. ESTUDO DE CASO

5.1 Vistoria in loco

A vistoria técnica ocorreu em 04 de abril 2025 no perímetro urbano de Guaraí, em Tocantins, na Unidade Básica de Saúde Josefa Pestana. Após solicitação via ofício à enfermeira responsável e autorização da mesma, foi realizada a vistoria do local para a análise prévia da edificação.

A edificação analisada é composta por estrutura em concreto armado, com sistema de vedação em alvenaria de blocos cerâmicos. Os revestimentos internos são constituídos por argamassa seguida de pintura acrílica, enquanto as áreas molhadas possuem revestimento cerâmico. O forro é do tipo gesso acartonado e a cobertura apresenta sistema convencional com telhas cerâmicas. A edificação possui aproximadamente 18 anos de uso.

Figura 4 - Visão frontal da Unidade Básica de Saúde Josefa Pestana

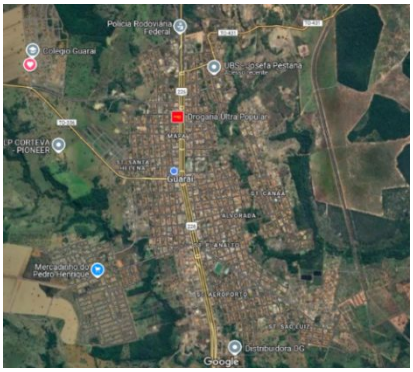


Fonte: Autores, 2026.

5.2 Caracterização da Unidade Básica de Saúde

A UBS Josefa Pestana, localizada em Guaraí, presta atendimentos a mais de quatro setores do município (Setor Pestana, Serrinha, Menino Jesus de Praga e Vale do amanhecer), oferecendo diversos serviços de saúde à comunidade. A UBS constitui o principal ponto de entrada da população aos serviços de saúde pública. Além dos atendimentos médicos e odontológicos, a unidade também oferece serviços de vacinação para bebês e adultos, exames preventivos, procedimentos curativos e acompanhamento de doenças crônicas (Brasil, 2023; Guaraí, 2017).

Figura 5 – Imagem via satélite da cidade onde está localizada



Fonte: Google Maps, 2026.

Figura 6 – Imagem via satélite com toda a delimitação e demais quadras da UBS.



Fonte: Google Maps, 2026.

5.3 Condições do clima

Em Guaraí, o clima predominante é tropical, com temperaturas altas que variam de 18 a 36 graus Celsius. Há uma estação chuvosa de outubro a meados de maio e uma estação seca de maio a setembro, quando chove pouco (Interlegis, 2015).

Com base nas informações apresentadas, observa-se que, em determinadas épocas do ano, há um grande volume de chuvas. É durante esses períodos chuvosos que costumam surgir problemas na edificação, muitos dos quais estão relacionados à umidade, fator que contribui para sua recorrência.

5.4 Coleta de dados

Para a análise, foram desenvolvidas três etapas sequenciais. A primeira consistiu na inspeção visual, por meio da qual toda a edificação foi examinada de forma abrangente, permitindo a identificação de possíveis problemas nos revestimentos. Em seguida, realizou-se o registro fotográfico de cada anomalia identificada, garantindo a documentação detalhada de todos os elementos relevantes observados. Por fim, na etapa de organização e resultados da inspeção, os problemas encontrados nos revestimentos foram separados e classificados de acordo com seu nível de comprometimento, sendo categorizados como comprometido, regular ou satisfatório.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Problema de desempenho e revestimento

As falhas localizadas da edificação surgem em áreas específicas, manifestando-se por meio de fissuras, descolamento de revestimentos ou manchas. Essas manifestações patológicas são, em geral, causadas por falhas de execução, uso de materiais inadequados ou infiltrações pontuais (Carvalho, 2023). Embora afetem apenas determinadas partes da edificação, é essencial que sejam analisadas, pois podem evoluir e comprometer o desempenho e a durabilidade da construção.

6.1.1 Trincas e fissuras

Foram encontradas várias trincas e fissuras, a maioria internamente indo de uma sala a outra (Figura 7). Podem ser ocasionadas por diversos fatores como por movimentação da estrutura, umidade e descolamento da argamassa. Na visita, observou-se fissuras no piso de concreto, próximo ao pátio.

Figura 7 – Fissuras próximas ao pátio no piso de concreto



Fonte: Autores, 2026.

Foi observado também, trincas na parede que iam do corredor dos funcionários até o banheiro masculino na parte interna da edificação (Figura 8).

Figura 8 – Trincas no corredor dos funcionários e dentro do banheiro masculino.



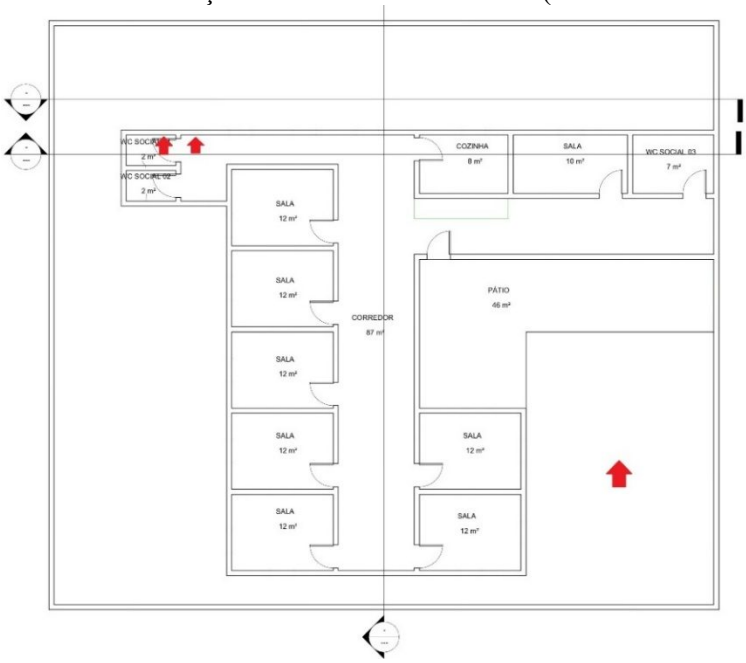
(a)



(b)

Fonte: Autores, 2026.

Figura 9 - Planta baixa com a localização das fissuras encontradas (destacadas nas setas em vermelho).



Fonte: Autores, 2026.

6.1.2 Mofo e Bolor

Foram identificados pontos de mofo e bolor nas áreas externas e na entrada da edificação, manifestações favorecidas pela alta umidade, baixa ventilação e falta de luz solar (Montecielo; Edler, 2016). Foi encontrado bolor também no forro de gesso, provavelmente ocasionado por alguma infiltração na telha cerâmica do teto (Figura 10).

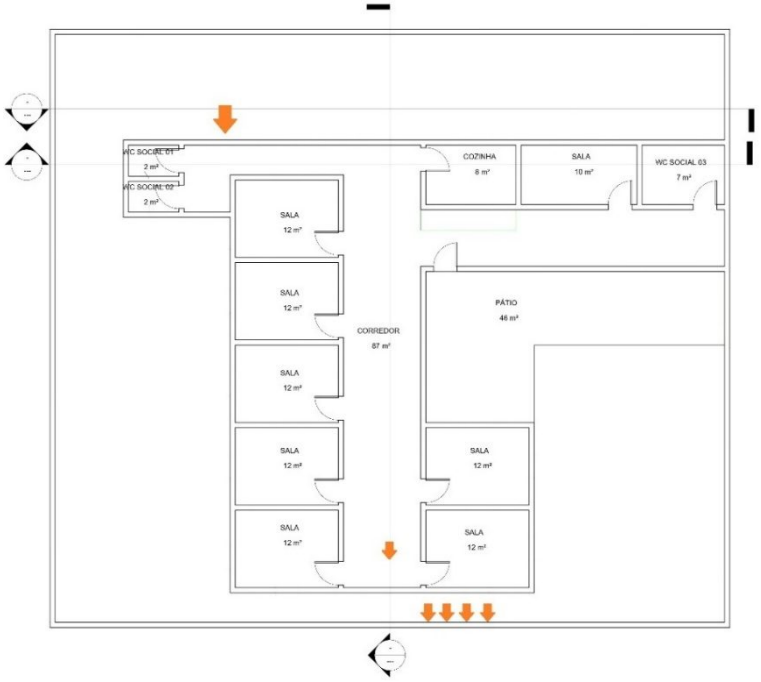
Figura 10 – Bolor na entrada (a), nos fundos (b) e forro de gesso com manchas (c).



(a) (b) (c)

Fonte: Autores, 2026.

Figura 11 – Planta baixa da localização de mofo e bolor na UBS (destacado nas setas laranjas)



Fonte: Autores, 2026.

6.1.3 Descascamento e empolamento

Durante a vistoria foram encontradas partes da parede com sinais de empolamento e descascamento da tinta (Figura 12 e 13). Afetando bastante na estética e na durabilidade do revestimento, podendo ocorrer por conta de falta de aderência entre as camadas, envelhecimento ou por umidade (Santos, 2019).

Figura 12 – Parede com descascamento da tinta.



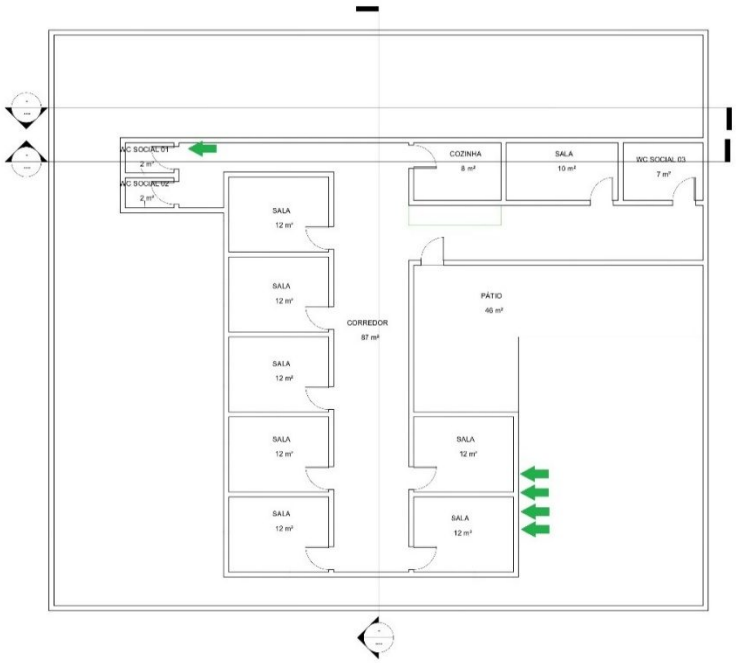
Fonte: Autores, 2026.

Figura 13 - Parede com empolamento.



Fonte: Autores, 2026.

Figura 14 - Planta baixa da localização de descascamento e empolamento (destacado nas setas em verde).



Fonte: Autores, 2026.

6.2 Grau de desempenho dos revestimentos

A classificação do desempenho dos sistemas de revestimento fundamentou-se em diretrizes técnicas, como a NBR 15575 (ABNT, 2013), adotando os níveis comprometido, regular ou satisfatório. O revestimento das paredes foi classificado como comprometido, pois apresenta fissuras, descascamento, mofo e empolamento resultantes de falhas executivas e da ausência de manutenção preventiva. Essas anomalias prejudicam a estanqueidade e a salubridade, comprometendo a durabilidade e a funcionalidade essenciais para o ambiente de uma unidade de saúde.

Em relação ao revestimento do piso, o desempenho é considerado satisfatório, uma vez que foram observadas apenas fissuras pontuais decorrentes de retração do material e variações térmicas regionais. Como essas falhas não afetam a segurança estrutural e o sistema mantém sua funcionalidade adequada aos requisitos de uso, ele ainda atende às exigências normativas.

O forro de gesso acartonado também apresenta desempenho satisfatório, mantendo, de modo geral, suas funções técnicas e estéticas preservadas. A única irregularidade identificada foi uma mancha de mofo localizada, provavelmente causada por uma infiltração pontual no telhado cerâmico. Conforme os critérios da ABNT NBR 16591, o sistema ainda cumpre seu papel adequadamente, mas recomenda-se manutenção corretiva imediata para estancar a infiltração e evitar a degradação futura das placas de gesso.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da Unidade Básica de Saúde Josefa Pestana indica que as manifestações patológicas encontradas estão relacionadas a diferentes mecanismos de degradação. Parte delas está associada à presença de umidade e a possíveis falhas no sistema de impermeabilização da edificação, sendo

agravadas pela ausência de manutenção preventiva ao longo do tempo. Outras, como fissuras e trincas, podem estar relacionadas a fatores como movimentações estruturais, retração dos materiais e variações térmicas.

Tais manifestações comprometem o desempenho dos revestimentos e impactam negativamente a salubridade dos ambientes, especialmente em uma unidade de saúde, onde a qualidade do ar e as condições de higiene são fundamentais para o bem-estar de usuários e profissionais. Problemas como mofo e bolor podem contribuir para o agravamento de doenças respiratórias, enquanto fissuras e trincas podem indicar falhas construtivas ou comportamentos estruturais que tendem a se agravar quando não tratados.

Como medidas corretivas, recomenda-se a identificação e eliminação das fontes de infiltração, a recuperação das áreas degradadas com a remoção dos revestimentos comprometidos e a aplicação de sistemas adequados. Para as fissuras e trincas, é fundamental a realização de mapeamento e monitoramento das aberturas, seguida do tratamento com materiais apropriados, como selantes ou argamassas de reparo, além da investigação das possíveis causas, como movimentações estruturais ou retração dos materiais. No geral, recomenda-se a implementação de um plano de manutenção preventiva periódica.

Dessa forma, o estudo evidencia a importância da análise de desempenho aliada à identificação de manifestações patológicas como ferramenta fundamental para a conservação de edificações públicas, contribuindo para a melhoria das condições de uso, durabilidade e qualidade dos serviços prestados à população.

REFERÊNCIAS

ARMBRUST, G. **Avaliação de desempenho: o que é, objetivos, tipos e como fazer**. Gupy, 12 nov. 2018. Disponível em: https://www.gupy.io/blog/avaliacao-de-desempenho. Acesso em: 02 de janeiro de 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13753:1996 – **Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13755:2017 – **Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante – Projeto, execução, inspeção e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16591:2017 – **Execução de forro autoportante com placas de gesso – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: **Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BRASIL. Secretaria de Comunicação Social. **Unidades Básicas de Saúde**. Disponível em: https://www.gov.br/secom/pt-br/acesso-a-informacao/comunicabr/lista-de-acoes-e-programas/unidades-basicas-de-saude-do-governo-federal. Acesso em: 02 de janeiro 2026.

CARVALHO, M. **Patologias na construção civil: identificação, impacto e soluções.** CarLuc Engenharia, 30 nov. 2023. Disponível em: https://carluc.com.br/manutencao-predial/patologias-na-construcao-civil/. Acesso em: 10 de janeiro de 2026.

CORSINI, R. **Trinca ou fissura**. São Paulo: Téchne, v. 160, 2010.

EPEC – Escritório Piloto de Engenharia Civil. **Eflorescência**. Disponível em: https://epec-ufsc.com.br/engenharia/eflorescencia/. Acesso em: 10 de janeiro de 2026.

GUARAÍ. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Saúde. **Relatório Quadrimestral: Prestação de Contas do 1º Quadrimestre de 2017**. Guaraí: Prefeitura Municipal, 2017.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

INTERLEGIS. **A Cidade**. Câmara Municipal de Guaraí. Guaraí, 2015. Recuperado de: https://www.guarai.to.leg.br/institucional/historia

MELO, Valquíria Silva et al. **Patologias em estruturas hidráulicas de macrodrenagem revestidas em concreto**. Construindo, 2009.

MOBUSS CONSTRUÇÃO. **NBR 15575: exigências da norma**. Disponível em: https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/nbr-15575/. Acesso em: 12 de janeiro de 2026.

MONTECIELO, J.; EDLER, M. A. R. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações.** Artigo para XXI Seminário Interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão–Universidade de Cruz Alta (UNIACRUZ),2016.

PAIOLA, Juliana. **Os ensaios de desempenho e o atendimento aos requisitos do usuário. Instituto Senai de Tecnologia em Construção Civil**. Disponível em: https://www.senaipr.org.br/tecnologiaeinovacao/blog/os-ensaios-de-desempenho-e-o-atendimento-aos-requisitos-do-usuario-1-36287-457024.shtml. Acesso em: 12 de janeiro de 2026.

QUARTZOLIT. **Diferença entre trincas, fissuras e rachaduras.** Quartzolit, [s.d.]. Disponível em: https://www.quartzolit.weber/blog/diferenca-entre-trincas-fissuras-e-rachaduras. Acesso em: 12 de janeiro de 2026.

ROCHA, G. **Patologias na construção civil: identificação, impacto e soluções.** Alicerce Engenharia Júnior, 18 set. 2023. Disponível em: https://www.alicerceejr.com/post/patologias-na-construção-civil-identificação-impacto-e-soluções. Acesso em: 12 de janeiro de 2026.

SALIBA, G. C. L. **Análises de manifestações patológicas encontradas em edifícios de Belo Horizonte e Nova Lima com até 30 anos de idade.** 2022. 78 p. Dissertação de Mestrado em construção civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2022.

SANTOS, M. F. S. **Instituto Baiano do Fumo: uma referência da arquitetura neocolonial na Bahia.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2019. Disponível em: https://www2.ufrb.edu.br/bcet/components/com_chronoforms5/chronoforms/uploads/tcc/201906

04200354_2018.2_TCC_Mateus_Ferreira_Santana_Santos_-_Um_estudo_de_caso_da_edificao_do_antigo_Instituto_Baiano_do_Fumo.pdf. Acesso em: 13 de janeiro de 2026.

SILVA, J.; PEREIRA, M. **Critérios para Análise do Desempenho em Edificações Educacionais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2021, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ANTAC, 2021. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbqp/article/view/2293/2193. Acesso em: 13 de janeiro de 2026.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1998.

CAPÍTULO 77 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/hzpmrz43
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/6tdf4464

APLICAÇÃO DO MÉTODO HIPOTÉTICO-DEDUTIVO NO DIAGNÓSTICO PERICIAL DE INFILTRAÇÃO EM FACHADA: ESTUDO DE CASO

Marcus Vinícius Fernandes Grossi[1]*
*grossiengenhariadiagnostica@gmail.com

[1] Grossi Engenharia Diagnóstica, Sorocaba, Brasil.

RESUMO

O diagnóstico de anomalias de umidade em edificações é uma tarefa complexa, especialmente em perícias judiciais onde a determinação do nexo de causalidade é imperativa. Este artigo apresenta a aplicação do método hipotético-dedutivo no diagnóstico de um caso de infiltração em fachada de um apartamento. A metodologia consistiu na formulação de múltiplas hipóteses para a origem do problema — infiltração pela fachada, ascensão capilar pelo piso e condensação — e na subsequente tentativa de refutá-las por meio de uma investigação sistemática. O processo incluiu análise documental, vistoria sensorial, ensaios não destrutivos (termografia, medidor de umidade) e ensaios expeditos, como a aspersão de água na fachada. Os resultados comprovaram, por meio do ensaio de aspersão, que a causa da umidade era a infiltração ativa de água de chuva por falhas na estanqueidade da fachada, associadas ao fim da vida útil do sistema e à ausência de manutenção. As hipóteses alternativas foram refutadas com base em evidências e testes específicos. O método hipotético-dedutivo mostrou-se uma ferramenta eficaz e robusta para a identificação precisa da origem de anomalias, conferindo objetividade e rigor técnico ao diagnóstico em disputas de patologia das construções.
Palavras-chave: patologia das construções; umidade; infiltração; método hipotético-dedutivo; diagnóstico.

ABSTRACT

The diagnosis of moisture-related building pathologies is a complex task, especially in forensic engineering investigations where establishing a causal link is imperative. This paper presents the application of the hypothetico-deductive diagnostic method in the investigation of a moisture case on a facade wall of an apartment. The methodology involved formulating multiple hypotheses for the origin of the problem—infiltration through the facade, capillary rise from the floor, and condensation—and subsequently attempting to refute them through a systematic investigation. The process included documentary analysis, sensory inspection, non-destructive tests (thermography, moisture meter), and expedited tests, such as water spraying on the facade. The results proved, through the water spray test, that the cause of the moisture was active rainwater infiltration through failures in the facade's watertightness, associated with the end of the system's service life and lack of maintenance. Alternative hypotheses were refuted based on specific evidence and tests. The hypothetico-deductive method proved to be an effective and robust tool for the precise identification of the origin of anomalies, providing objectivity and technical rigor to the diagnosis in building pathology disputes.
Keywords: building pathology; moisture; infiltration; hypothetico-deductive method; diagnosis.

1. INTRODUÇÃO

As manifestações patológicas em edificações representam um dos desafios mais recorrentes e dispendiosos da engenharia civil. Dentre elas, as que envolvem a presença indesejada de umidade

são particularmente prevalentes. Diversos estudos apontam que a umidade figura entre os problemas mais frequentes em construções no Brasil, com as infiltrações de água de chuva por problemas de estanqueidade das fachadas sendo responsáveis por uma parcela significativa desses casos (KOERICH, 2024; BASTOS et al. 2017; CGU, 2017; CAMARGO et al. 2019; FOLHA DE SÃO PAULO, 2005 apud BURIN et al., 2009; CAVALCANTI, 2012; PEREZ, 1988; RIPPER, 1984; VERÇOZA, 1981). As consequências extrapolam o mero desconforto estético, avançando para questões de salubridade, com a proliferação de microrganismos nocivos, e de durabilidade, ao promover a degradação acelerada de componentes da edificação.

O sistema de vedação vertical externo, a fachada, é a principal barreira de proteção do ambiente construído contra a ação das intempéries (ABNT NBR 15575-1, 2025). No entanto, sua exposição constante e a complexidade de seus múltiplos componentes a tornam um ponto crítico e vulnerável. A origem de uma infiltração pode ser multifatorial — envolvendo desde falhas de projeto e execução até a ausência de manutenção preventiva —, tornando o diagnóstico de sua causa raiz uma tarefa complexa (PETERSEN, 2022).

A complexidade do diagnóstico se agrava quando a questão é transposta para o âmbito judicial. Em um litígio para apuração de responsabilidades, não basta ao perito constatar a existência da umidade e elencar ‘causas possíveis’. É imperativo estabelecer, de forma objetiva e tecnicamente fundamentada, o nexo de causalidade entre a origem da anomalia e os danos reclamados. A ausência de uma metodologia de investigação estruturada frequentemente resulta em laudos inconclusivos ou subjetivos, que prolongam disputas e arriscam decisões injustas (GROSSI et al., 2025).

Surge, assim, a seguinte questão-problema: como conduzir uma investigação pericial em patologia das construções que possa, com rigor científico, comprovar ou refutar as hipóteses de causalidade, fornecendo ao juízo os subsídios necessários para a correta atribuição de responsabilidades?

1.1 Objetivo

O presente artigo tem como objetivo principal demonstrar a aplicação do método diagnóstico hipotético-dedutivo como ferramenta na perícia de engenharia, especificamente na análise de nexo de causalidade em um litígio envolvendo umidade em fachadas. Para isso, detalha-se um estudo de caso real de investigação das origens de manifestações patológicas em uma unidade residencial, onde a correta identificação da causa era imperativa para a determinação de responsabilidades. Secundariamente, busca-se evidenciar a relevância de uma abordagem metódica que transcende a simples constatação de danos, oferecendo um roteiro que pode ser empregado por peritos e assistentes técnicos para conferir maior robustez e imparcialidade aos diagnósticos de anomalias construtivas.

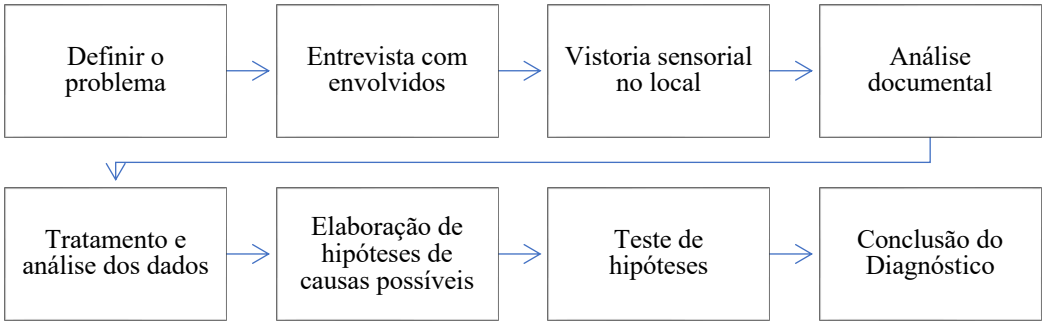
1.2 Metodologia investigativa

O método diagnóstico em casos de perícias de engenharia devem ser se alicerçar nos critérios da NBR 13752 (ABNT, 2024) e do Código de Processo Civil (BRASIL, 2015), todavia, tais referências não determinam o método investigativo em si, apenas orienta que o profissional deve fundamentá-lo por meio de referências técnicas, preferencialmente, consensuadas pela comunidade técnica. Neste caso, foi adotado neste estudo de caso o método hipotético-dedutivo, sendo este o método mais amplamente citado e utilizado na área de engenharia forense ou perícias de engenharia (PIVATO et al., 2021; NOON, 2000; NFPA 921, 2014), patologia das construções (TUTIKIAN &

PACHECO, 2013; CIB, 1993; LICHTENSTEIN, 1986), engenharia diagnóstica (GROSSI, 2021) e ciências em geral (MARCONI & LAKATOS, 2003).

As etapas da investigação foram as seguintes: (a) levantamento do histórico por meio de entrevista com os envolvidos; (b) vistoria em campo por meio sensorial; (c) realização de ensaios expeditos: termografia, medição de umidade superficial, aspersão de água sobre a fachada, lâmina d'água no piso; (d) análise documental; (e) elaboração e teste de hipóteses; conforme ilustrado no Fluxograma 1.

Fluxograma 1 – Investigação Pericial de Análise de Causalidade ou Nexo Causal



Fonte: o Autor.

1.2.1. Coleta de dados

Para cada etapa de coleta de informações e dados, foi empregada uma metodologia específica de investigação, conforme resumido no Quadro 1.

Quadro 1 – Relação dos procedimentos de coleta de dados

Meio	Descrição dos procedimentos	Amostragem	Referência
Documental	Análise das peças judiciais, além de registros de projeto, reformas, manutenções, data da ocorrência e reclamação das anomalias.	Relacionados aos sistemas construtivos com suspeita	NBR 16747 (ABNT, 2020)
Entrevista	Foi realizada entrevista não estruturada durante as vistorias aos imóveis objeto, questionando sobre aspectos cronológicos, anomalias identificadas e reparadas, alterações e reformas, manutenções e outros pertinentes ao esclarecimento do contexto e problemas.	Representantes das partes interessadas no processo	-
Vistoria sensorial	Foi realizada análise sensorial direta de todos os ambientes com problema e áreas adjacentes dos imóveis, com respectivo registro fotográfico.	Áreas acessíveis a pé sem equipamentos	NM 315 (ABNT, 2017)
Termografia infravermelha	Foi utilizado câmera termográfica infravermelha, onde o termovisor faz registros gráficos das variações de temperatura superficial dos trechos de elementos construtivos analisados, de forma qualitativa. Equipamento Flir E8.	Áreas com suspeita de presença de umidade	NBR 16818 (ABNT, 2020)
Método de medição de umidade superficial	Foi utilizado um umidímetro de contato para fazer medições de teores de umidade em elementos de construção de forma não destrutiva. O equipamento utilizado foi o MR 160 da marca Flir, que mede o teor de umidade por impedância até 20 mm de profundidade.	Áreas com suspeita de presença de umidade	ASTM F2659-10

Meio	Descrição dos procedimentos	Amostragem	Referência
Ensaio de estanqueidade do piso	Para realização do ensaio de estanqueidade do sistema de piso, realizou-se obstrução as saídas das tubulações dos ralos, deixando uma lâmina d'água com traçador químico, por no mínimo 72h, e observar sensorialmente com auxílio de lanterna UV (ultravioleta) eventuais infiltrações.	1 amostra do piso de área molhada próximo à ocorrência	NBR 15575-3 (ABNT, 2021)
Ensaio de estanqueidade de fachada	Para realização do ensaio de estanqueidade da fachada, realizou-se adaptação do método normativo, por aspersão de água por meio de hidrojateadora com leque aberto de forma homogênea sobre a área com suspeita de infiltração. Internamente observou-se com câmera termográfica alterações no perfil térmico do elemento, e, com medidor de umidade, alteração no percentual de umidade superficial.	Áreas com suspeita de infiltração	NBR 15575-4 (ABNT, 2025)

Fonte: o Autor.

1.2.4. Método de inferência causal

O método inferencial adotado consiste na formulação de hipóteses sobre as possíveis causas do problema, as quais são elaboradas com base na pesquisa em referências bibliográficas, pela correlação de dados coletados ou pelo conhecimento particular do profissional. Depois das hipóteses definidas, deve-se das prosseguimento com a realização do teste de hipótese, que nada mais é do que uma tentativa de a refutar com base em novos dados coletados, experimentos ou simulações (GROSSI, 2021).

Epistemologicamente não é possível provar a hipótese em si, mas apenas corroborá-la ou refutá-la. Desta forma, quando se chega ao fim do processo diagnóstico, não se tem a certeza da causa, mas sim, a causa mais plausível ou provável para o caso, com base nos dados levantados (GROSSI, 2024).

Caso todas as hipóteses sejam descartadas, deve-se realizar novo levantamento de hipótese com pesquisa bibliográfica mais ampla e fazendo coleta de dados exploratória em documentos, vistoria em campo e ensaios. Não havendo êxito nesse processo, o diagnóstico é tipo como "causa indeterminada" (NFPA 921, 2014).

2. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados da coleta de dados que fundamentaram a análise causal. A investigação foi metodicamente direcionada aos ambientes reclamados — sala de estar e dormitório 02 — e à fachada externa correspondente, seguindo as etapas de anamnese, coleta de dados em campo e, por fim, a formulação e teste de hipóteses.

2.1 Anamnese

A análise documental revelou que o auto de conclusão da obra (Habite-se) do edifício foi expedido em 18 de abril de 1983, conferindo à edificação uma idade de 38 anos à época da perícia. Este dado cronológico é fundamental, pois posiciona a vida útil dos sistemas construtivos, especialmente o de vedação da fachada, em um ponto crítico.

A norma de desempenho ABNT NBR 15575-1 (2025) estabelece uma Vida Útil de Projeto (VUP) de 40 anos para o sistema de vedação vertical e de 8 anos para a pintura de fachada. Embora a

norma seja posterior à construção, ela serve como a principal referência técnica para avaliar a durabilidade esperada. Para que essa vida útil seja atingida, a ABNT NBR 5674 (2024) preconiza um programa de manutenção sistemático, com inspeções e reparos em fachadas a cada três anos, aproximadamente.

A investigação, contudo, apontou a inexistência de um plano de manutenção formal. O estado de degradação generalizada da pintura e a execução de reparos pontuais com material inadequado (argamassa polimérica rígida) corroboram materialmente essa negligência, caracterizando ações reativas em vez de preventivas. Portanto, a anamnese estabelece um contexto de vulnerabilidade: um sistema de fachada que já ultrapassou sua vida útil de projeto sem a devida manutenção, tornando a infiltração por falhas de estanqueidade um cenário altamente provável.

2.2 Coleta de dados

A inspeção focou-se nas evidências físicas, tanto internas quanto externas, para caracterizar a anomalia e coletar dados que pudessem direcionar a investigação causal.

2.1.1 Sala de estar e dormitório 02

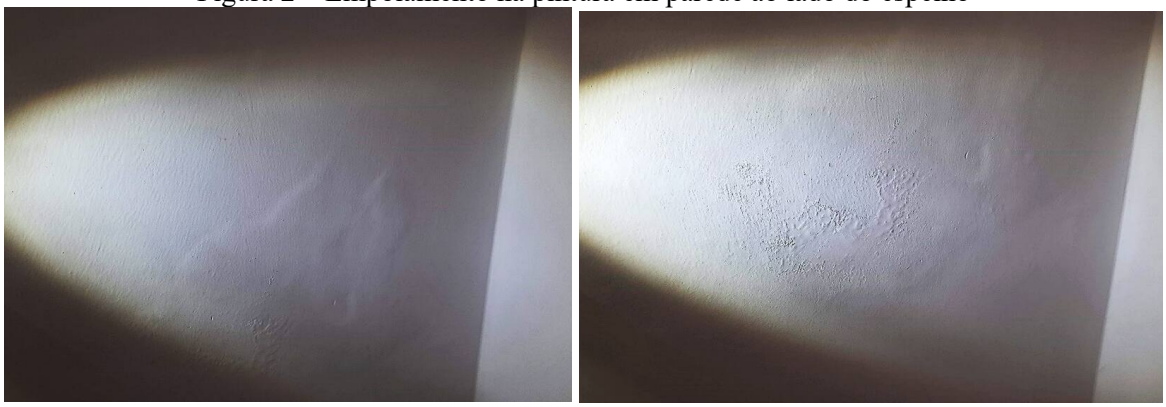
Nos ambientes internos, foram constatadas manifestações patológicas típicas de umidade crônica: desenvolvimento de bolor, empolamento e descascamento da pintura, e danos a mobiliário e bens, como oxidação de espelhos e emboloramento de roupas e calçados (Figura 1 a Figura 3).

Figura 1 – a) Vista geral da sala de estar; b) pontos de oxidação no espelho



Fonte: o Autor

Figura 2 – Empolamento na pintura em parede ao lado do espelho



Fonte: o Autor

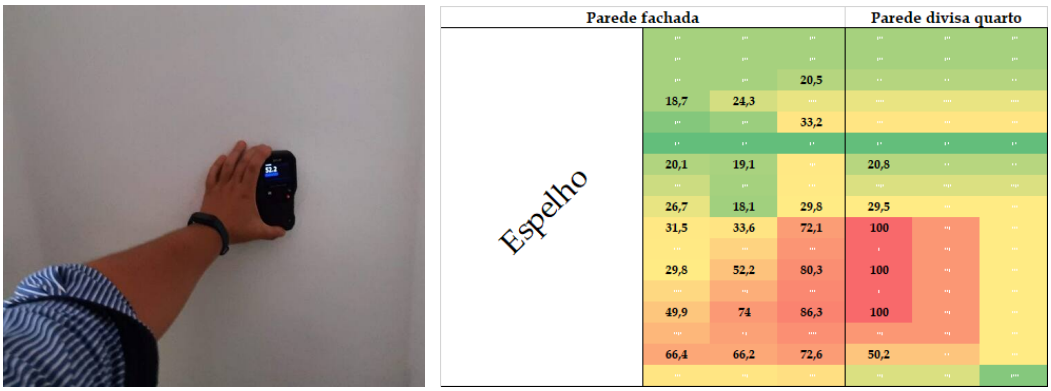
Figura 3 – a) Vista geral do dormitório 02; b) Calçados embolorados no interior do armário



Fonte: o Autor

Para quantificar a extensão da umidade, realizou-se um mapeamento com medidor de impedância. Os resultados (Figura 4) foram inequívocos, revelando uma concentração anômala de umidade com picos de 100% nos cantos inferiores das paredes de fachada. Este padrão de umidade concentrada na base da parede externa aponta diretamente para uma fonte de infiltração externa e de baixa altura, descartando, a princípio, causas como condensação generalizada, que apresentariam uma distribuição mais difusa.

Figura 4 – a) Medição do teor de umidade superficial; b) Mapa de umidade superficial (%)



Fonte: o Autor.

2.1.2 Fachada

A inspeção visual da fachada revelou múltiplas anomalias: fissuras na argamassa, falhas de pintura e reparos paliativos (Figura 5). Notavelmente, uma fissura vertical proeminente foi identificada precisamente alinhada com a divisão interna entre a sala e o dormitório, estabelecendo uma forte correlação espacial entre o dano externo e a anomalia interna. Adicionalmente, foram observadas falhas de vedação na platibanda e em passagens de tubulações, multiplicando os potenciais pontos de penetração de água.

Figura 5 – a) Parede da fachada da unidade com marcas do reparo; b) fissura em região de divisão entre ambientes internos (sala e dormitório 02)**;** c) Vista de platibanda com fissura, descascamento de pintura e fixação de tubulações; d) Destacamento de textura e pontos de fixação de luminária; e) Piso externo com pintura asfáltica sobre revestimento cerâmico; f) Detalhe da foto anterior.



Fonte: o Autor

2.2 Formulação e teste de hipóteses

Com base nos dados contextuais e nas evidências físicas coletadas, foram formuladas três hipóteses causais para a umidade observada, que foram então submetidas a testes de refutação, conforme sintetizado no Quadro 2.

Quadro 2 - Hipóteses possíveis para ocorrência de infiltração

Hipótese	**Causa (Por quê?)**	**Origem (Quem?)**	
A	Infiltração por falhas na fachada	Manutenção / Fim da vida útil	Condomínio
B	Ascensão capilar pelo piso externo	Manutenção / Fim da vida útil	Condomínio
C	Condensação de vapor d'água	Uso	Proprietário

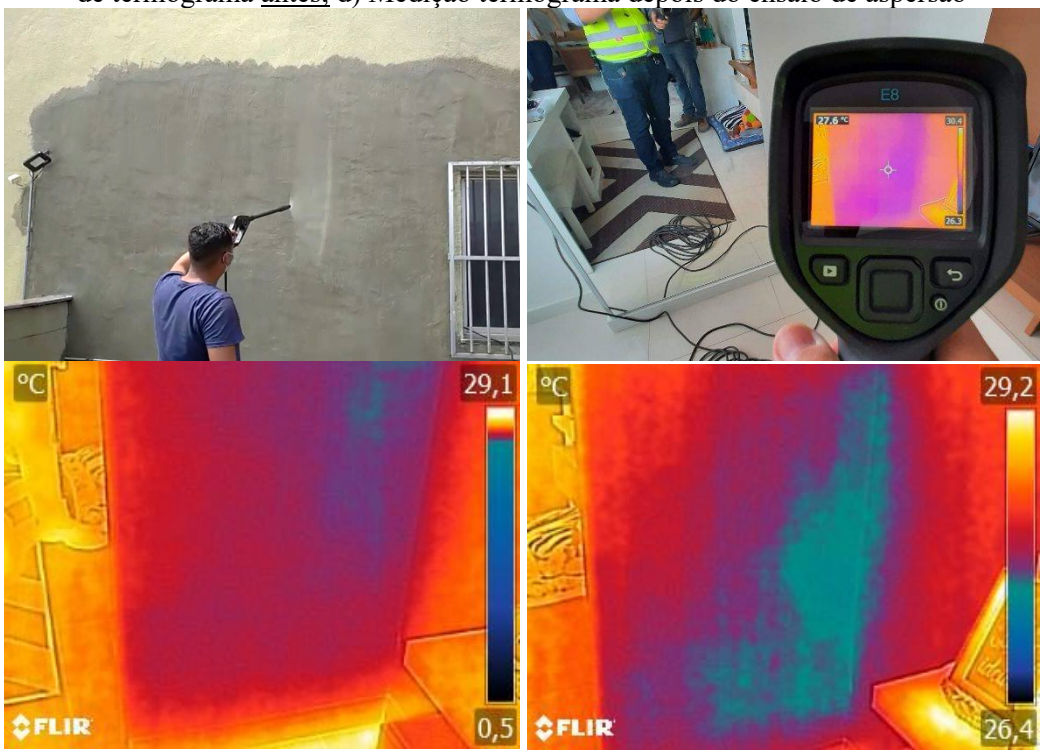
Fonte: o Autor.

2.2.1 Teste de hipótese de infiltração de água de chuva pela fachada

Para verificar a hipótese de infiltração ativa pela fachada, realizou-se um ensaio de aspersão de água com hidrojateadora em leque sobre a área externa suspeita (Figura 6). Simultaneamente, o monitoramento interno foi conduzido com câmera termográfica e medidor de umidade.

Após o início da aspersão, observou-se um aumento claro e rápido no teor de umidade superficial interno, que saltou de 80% para 97,2%. A imagem térmica (Figura 6) corroborou o achado, registrando uma queda de temperatura na superfície interna, indicativa da presença de água. A combinação dos dois métodos comprovou inequivocamente a existência de uma via de infiltração direta pela fachada.

Figura 6 – a) Aspersão de água com hidrojateadora na fachada; b) Inspeção com termografia; c) Medição de termograma antes; d) Medição termograma depois do ensaio de aspersão



Fonte: o Autor

2.2.2 Teste de hipótese ascensão capilar pelo piso

Para investigar a hipótese de ascensão capilar, realizou-se um ensaio de estanqueidade no piso externo por 72 horas. Embora o ensaio tenha revelado falhas de estanqueidade no sistema de piso em outros pontos (Figura 7), não foi observada qualquer alteração no teor de umidade da parede interna na região de interesse. Este resultado permitiu refutar a hipótese de que a ascensão capilar pelo piso fosse a causa da anomalia investigada.

Figura 7 – a) Ensaio de estanqueidade do sistema de piso b) Infiltração em locais não relacionados



Fonte: o Autor

2.2.3 Condensação de vapor d'água

A hipótese de condensação superficial como causa primária da umidade foi avaliada com base na morfologia das anomalias e nos dados coletados. A presença de emboloramento severo e, principalmente, a erosão do revestimento de gesso atrás do armário (Figura 8) são manifestações patológicas mais agressivas e localizadas do que as tipicamente associadas à condensação, que tende a se manifestar de forma mais difusa e superficial.

Figura 8 – a) Fundo do armário embolorado; b) Parede atrás do armário com erosão; b) Emboloramento em parede



Fonte: o Autor

O fator decisivo para a análise desta hipótese foi a correlação com os resultados do teste de infiltração pela fachada (Seção 2.2.1). A observação de que o teor de umidade da parede interna aumentou significativamente após a aspersão de água externamente demonstrou a existência de uma fonte de infiltração ativa. Interpretou-se, portanto, que o elevado teor de umidade relativa do ar no microclima entre o armário e a parede era uma consequência direta da evaporação da água infiltrada pela fachada, e não a causa primária do problema.

Pelo fato de a infiltração constituir uma fonte contínua de umidade, geradora de vapor, sua eliminação seria um pré-requisito para testar a hipótese de condensação de forma isolada. Contudo, com base nas evidências disponíveis, o descarte da condensação como causa principal foi realizado

por um critério de maior plausibilidade. A infiltração pela fachada foi corroborada por ensaio empírico, enquanto a condensação se mostrou uma explicação menos provável e, muito possivelmente, um efeito secundário do problema principal.

3. CONCLUSÃO

O objetivo principal deste artigo foi demonstrar a aplicação do método diagnóstico hipotético-dedutivo como uma ferramenta robusta para a análise de nexo de causalidade em um litígio judicial envolvendo umidade em uma parede de fachada. A metodologia seguiu uma abordagem sistemática, partindo da anamnese e análise documental, passando pela vistoria sensorial, ensaios expeditos não destrutivos e, finalmente, a formulação e o teste de hipóteses.

A síntese dos resultados comprovou que a causa primária da umidade era a infiltração de água de chuva através de falhas no sistema de vedação da fachada, notadamente fissuras e perda de estanqueidade da pintura, agravadas pela ausência de um plano de manutenção predial. As hipóteses alternativas, como ascensão capilar pelo piso e condensação, foram refutadas com base em ensaios e na análise da morfologia das anomalias. Os danos observados no interior da unidade, incluindo a degradação de revestimentos e o emboloramento de bens, foram diretamente correlacionados como consequência dessa infiltração.

Como comentário adicional, a aplicação do método se mostrou crucial para conferir objetividade e verificabilidade por pares ao diagnóstico pericial. Em um contexto litigioso, onde a subjetividade pode levar a contestações e incertezas, a capacidade de demonstrar logicamente a refutação de hipóteses alternativas e a corroboração da causa mais provável, com base em evidências materiais e ensaios, fortalece a conclusão do perito e fornece ao juízo um subsídio técnico seguro para a tomada de decisão.
Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação deste método em estudos de caso com maior complexidade, envolvendo múltiplas fontes de umidade concomitantes, a fim de validar e aprimorar os critérios de dissociação de causas. Adicionalmente, recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas que sugiram métodos alternativos de diagnóstico para casos em que o teste de hipótese é inviável ou impossível.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5674: **Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro, 2024.

_____. NBR 9575: **Impermeabilização — Seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 13752: **Perícias de engenharia na construção civil**. Rio de Janeiro, 2024.

_____. NBR 15575-1: **Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2025.

_____. NBR 15575-3: **Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos**. Rio de Janeiro, 2021.

_____. NBR 15575-4: **Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE**. Rio de Janeiro, 2025.

_____. NBR 16747: **Inspeção predial — Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2020

_____. NBR 16818: **Ensaios não destrutivos - Termografia infravermelha —Procedimento para aplicações do método da termografia infravermelha**. Rio de Janeiro, 2020

_____. NBR NM 315: **Ensaios não destrutivos — Ensaio Visual — Requisitos e práticas recomendadas**. Rio de Janeiro, 2017.

ADVANCING STANDARDS TRANSFORMING MARKETS (ASTM) F2659-10: ***Standard guide for preliminary evaluation of comparative moisture condition of concrete, gypsum cement and other floor slabs and screeds using a non-destructive electronic moisture meter***. *West Conshohocken*, PA: ASTM, 2015.

BASTOS, Lucio de Oliveira; RAMPINELLI, Fabiana Giacomin; TOSTA, Joice Paiva. Vícios construtivos: desconformidades às normas e sua frequência. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS (COBREAP), 19., 2017, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: IBAPE, 2017.

BRASIL. Lei nº 13.105, de 16 de março de 2015. Institui o Código de Processo Civil. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 17 mar. 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13105.htm>. Acesso em: 15 fev. 2026

BURIN, Eduardo M. et al. **Vistoria na construção civil**. São Paulo: PINI, 2009. 164 p.

CAMARGO, Ana Paula; BAGGIO, Luiz Marques; PIZUTTI, Priscila Rosa. **Levantamento dos sistemas construtivos com maiores incidências de manifestações patológicas encontradas nos empreendimentos de uma construtora da cidade de Curitiba**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação em Patologia das Obras Civis) — Instituto IDD, Curitiba, 2019.

CAVALCANTI, Guilherme Castelo. **Procedimentos de assistência técnica para empresas construtoras de edificações residenciais**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) — Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), São Paulo, 2012.

CONTROLADORIA-GERAL DA UNIÃO (CGU). **Minha Casa Minha Vida**: 56,4% dos imóveis avaliados apresentam defeitos na construção. Brasília, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/cgu/pt-br/assuntos/noticias/2017/08/minha-casa-minha-vida-56-4-dos-imoveis-avaliados-apresentam-defeitos-na-construcao.

GROSSI, Marcus Vinícius Fernandes. Metodologia do Diagnóstico. In: GOMIDE, Tito Lívio et al. (Coord.) **Manual de Engenharia Diagnóstica**: desempenho, manifestações patológicas e perícias na construção civil. 2 ed. São Paulo: LEUD, 2021. p. 228.

GROSSI, Marcus Vinícius Fernandes. Limitações do método hipotético-dedutivo em diagnósticos de anomalia construtiva. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS

CONSTRUÇÕES (CBPAT), 6., 2024. **Anais** [...]. Porto Alegre: Associação Brasileira de Patologia das Construções, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.12775170.

GROSSI, Marcus Vinícius Fernandes; FERNANDES, Karoline Willemann; DIAS, Débora Rodrigues Pereira. Análise de conformidade de laudos periciais sobre vícios construtivos do Tribunal de Justiça do Estado de São Paulo. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS (COBREAP), 23., 2025, [local do evento]. **Anais [...]** João Pessoa: IBAPE, 2025.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING ANDCONSTRUCTION (CIB). ***Building Pathology****: A State-of-the-Art Report*. *Publication* 155, June 1993.

KOERICH, Francine. **Identificação das principais anomalias construtivas nas edificações residenciais no Brasil**: uma revisão integrativa da literatura. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.

LICHTENSTEIN, Norberto Blumenfeld. **Patologia das construções**. São Paulo: EPUSP, 1986.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003. 311 p.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). NFPA 921: ***Guide for Fire and Explosion Investigations***. Quincy, 2014.

NOON, Randall K. ***Forensic Engineering Investigation***. CRC Press, 2000, 484 p.

PETERSEN, André Barros Bolzani. **Vida útil, manutenção e inspeção**: foco em fachadas revestidas com reboco e pintura. São Paulo: LEUD, 2022.

PEREZ, Ary Rodrigo. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção de penetração de água pelas fachadas (1ª parte). *In*: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT) (São Paulo). Divisão de Edificações do IPT. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: Pini, 1988. p. 571-574.

PIVATO, A.; GWINETT, C.; VARGHESE, G.; PEREIRA, C.; FLORES-COLEN, I.; DE BRITO,J.: *Forensic engineering approaches. In:* FLORES-COLEN I.; BRITO, J.; Inês (ed.). ***New Trendson Building Pathology***. Canadá: CIB, 2021. p. 83-86. (Publication 422).

RIPPER, Ernesto. **Como evitar erros na construção**. 2 ed. São Paulo: PINI, 1984. 122 p.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. Boletín Técnico 1: ***Inspección, Diagnóstico y Prognóstico en la Construcción Civil***. Merida: ALCONPAT, 2013

VERÇOZA, Enio José. **Patologia das edificações**. Porto Alegre: Sagra, 1981. 173 p.

CAPÍTULO 78 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/gryfmx49
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/xgrv6113

OCORRÊNCIA CONCOMITANTE DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO E ATAQUE INTERNO POR SULFATOS EM BLOCO DE FUNDAÇÃO DE EDIFÍCIO

João Ricardo Pereira da Silva[1]*
*Autor de contato: eng_jrps@hotmail.com

[1] Professor Doutor Departamento de Engenharia Civil, UNIT-PE/NARDO Engenharia&Consultoria, Recife, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta a investigação das manifestações patológicas observadas em blocos de fundação de um edifício residencial localizado em Recife-PE. A estrutura apresentava fissuração mapeada e exsudação. A análise envolveu ensaios de resistência à compressão, pacometria, carbonatação, além de avaliações microestruturais (ME, MLT e MEV/EDS) e químicas. Os resultados indicaram dispersão na resistência do concreto e ausência de carbonatação ou ataque por cloretos. As análises petrográficas identificaram agregados reativos (quartzo microgranular e tensionado). As microscopias evidenciaram a presença significativa de gel de Reação Álcali-Agregado (RAA) e formação de etringita secundária, associadas a teores elevados de álcalis (0,44%) e sulfatos (0,46%). O conjunto dos resultados indica a ocorrência concomitante de RAA e Ataque Interno por Sulfatos, favorecidos pela umidade constante e pela composição dos materiais constituintes.
Palavras-chave: Reação álcali-agregado; ataque interno por sulfatos; etringita secundária; durabilidade do concreto.

ABSTRACT

This study presents the investigation of pathological manifestations observed in foundation blocks of a residential building located in Recife, Brazil. The structure exhibited map cracking and exudation. The assessment included compressive strength tests, covermeter survey, carbonation testing, as well as microstructural (SM, TLM, and SEM/EDS) and chemical analyses. The results indicated dispersion in concrete strength and absence of carbonation or chloride attack. Petrographic analyses identified reactive aggregates (microgranular and strained quartz). Microscopic examinations revealed significant presence of Alkali–Aggregate Reaction (AAR) gel and formation of secondary ettringite, associated with elevated alkali (0.44%) and sulfate (0.46%) contents. The overall findings indicate the concomitant occurrence of AAR and Internal Sulfate Attack, favored by constant moisture conditions and by the composition of the constituent materials.
Keywords: Alkali–aggregate Reaction; internal sulfate attack; secondary ettringite; concrete durability.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho do concreto em serviço está diretamente relacionado às variáveis inerentes à sua composição, ao processo executivo e às condições ambientais às quais a estrutura é submetida (Griffiths *et al.*, 2023; Fernandes; Broekmans, 2013). No campo da durabilidade, é amplamente reconhecido que reações expansivas internas podem comprometer a integridade do material ao longo do tempo, especialmente quando presentes condições favoráveis ao seu desenvolvimento (Sellier; Multon, 2018; Belghali *et al*., 2025).

Entre os principais mecanismos de deterioração interna observados em estruturas de concreto, destacam-se a Reação Álcali-Agregado (RAA) (Chéruel; Ftima, 2023) e a Decomposição da Etringita Tardia (DEF) (Sanjeewa; Asamoto, 2024), embora distintos quanto à origem, podem produzir manifestações patológicas semelhantes, como fissuração em rede, exsudações e desagregação progressiva da matriz cimentícia (Ollivier; Vichot, 2014).

A Reação Álcali-Agregado (RAA) foi identificada pela primeira vez nos Estados Unidos na década de 1940, por Stanton (Swamy, 1992), e desde então tem sido reportada em diversos países, incluindo o Brasil (Silva *et al*., 2016). A RAA desenvolve-se a partir da interação entre os álcalis do cimento e fases silicosas potencialmente reativas presentes nos agregados, onde a formação de gel expansivo, em ambiente com disponibilidade hídrica, promove tensões internas progressivas e consequente fissuração da matriz cimentícia (Shi *et al.*, 2006; Olajide; Nokken; Sanchez, 2023).

No Brasil, a RAA ganhou notoriedade a partir de 2005 na cidade de Recife, capital do Estado de Pernambuco (Andrade, 2019). Especificamente, relatos em obras de infraestrutura e edifícios têm alertado para a necessidade de investigação detalhada, especialmente em locais com elevada umidade e uso de agregados potencialmente reativos.

A Formação de Etringita Tardia (DEF) está associada a concretos submetidos a elevações térmicas durante o período inicial de cura, nas quais a etringita primária sofre instabilidade e, em idades posteriores, recristaliza-se sob forma expansiva, promovendo fissuração interna progressiva (Hasparyk *et al.*, 2022). Embora frequentemente relacionada a elementos pré-moldados ou a concretos de grande volume, essa manifestação também pode ser observada em estruturas moldadas in loco submetidas a históricos térmicos relevantes (Costa *et al*., 2025). No contexto nacional, casos de DEF vêm sendo diagnosticados com maior frequência, muitas vezes associados a concretos de alto desempenho ou elementos estruturais que sofreram sobrecarga térmica durante a execução (Torres; Andrade, 2016) (Torres; Torres; Andrade, 2024). Algumas construções de concreto têm apresentado imaturidade quanto a sua tecnologia, onde, isso pode afetar diretamente a durabilidade da obra, apresentando problemas inesperados, por exemplo, com o inadequado uso dos materiais de construção (Sims; Poole, 2017).

À luz desse contexto, analisa-se um estudo de caso referente a blocos estruturais de fundação de um edifício localizado no bairro de Boa Viagem, Recife/PE, sob a perspectiva da patologia das construções, onde os resultados obtidos em campo e em laboratório são interpretados de forma integrada para a identificação dos mecanismos de degradação atuantes.

2. METODOLOGIA

A investigação seguiu as diretrizes de inspeção predial estabelecidas pela NBR 16747 (ABNT, 2020), sendo conduzida em duas etapas principais: campo e laboratório. As etapas laboratoriais compreenderam ensaios, nas amostras, de resistência à compressão, microscopia estereoscópica

(ME), Microscopia de luz transmitida (MLT), microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada à espectroscopia de energia dispersiva (EDS), análise petrográfica em lâmina delgada, determinação dos teores de álcalis solúveis em ácido, teor total de enxofre no concreto e determinação do teor de cloretos na profundidade de 15 mm. Cada ensaio foi executado conforme as normas técnicas e procedimentos laboratoriais aplicáveis, de forma a subsidiar a interpretação integrada dos mecanismos de deterioração identificados.

Inicialmente, realizou-se inspeção visual e registro fotográfico da peça estrutural (Figura 1-a), com definição dos pontos de amostragem. A localização das armaduras foi feita por pacometria digital (Figura 1-b), conforme as boas práticas de inspeção estabelecidas pelas normas BS 1881-204:1988 (BS, 1988) e ACI 228.2R (ACI, 2013), de maneira a evitar interferências no processo de extração. Em seguida, efetuou-se a extração de quatro testemunhos de concreto, sendo dois testemunhos por face oposta, conforme NBR 7680 (ABNT, 2015), adotando diâmetro nominal de 100 mm e comprimento de aproximadamente 200 mm (Figura 1-c).

Figura 1 - Etapas da investigação experimental de campo: (a) inspeção visual e registro da fissuração mapeada; (b) ensaio de pacometria digital; (c) extração de testemunhos de concreto.



Fonte: o autor.

Ainda em campo, executou-se o ensaio de carbonatação com indicador de base conforme RILEM CPC-18 (RILEM, 1988).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir das análises em campo e laboratoriais realizadas sobre os corpos de prova extraídos das sapatas.

A interpretação dos dados foi conduzida à luz das normas técnicas e referências científicas aplicáveis à patologia das construções de concreto armado e à durabilidade do concreto, buscando identificar indícios químicos e microestruturais compatíveis com a ocorrência de RAA e/ou DEF, bem como compreender os mecanismos de deterioração e o grau de comprometimento microestrutural do material.

3.1. Ensaios de campo

3.1.1 Inspeção visual, pacometria e extração de testemunhos

A superfície do concreto evidenciou um padrão de fissuração mapeada. A pacometria confirmou as localizações das armaduras, facilitando a extração dos corpos de prova e contribuindo para manter a integridade das amostras (Figura 2).

Figura 2 - Corpos de prova de concreto extraídos.



Fonte: o autor.

3.1.2 Profundidade de carbonatação

O ensaio de carbonatação foi realizado na superfície interna do furo correspondente ao ponto de extração do testemunho, de acordo com RILEM CPC-18 (RILEM, 1988). Observou-se coloração rósea em toda a extensão da parede interna do furo (Figura 3), indicando que a região avaliada apresenta pH superior a 9,5, portanto, sem ocorrência de carbonatação (Mehta; Monteiro, 2014; Neville, 2016).

Figura 3 - Análise de carbonatação na parede interna do furo.



Fonte: o autor.

Não foi observada alteração de cor no fundo do furo, o que se deve à ausência de aplicação direta do indicador nessa área e não à presença de zona carbonatada.

3.2. Ensaios de laboratório

3.2.1 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em laboratório, conforme os procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 2018), utilizando dois testemunhos extraídos do bloco estrutural inspecionado. Os corpos de prova foram previamente retificados e ensaiados em prensa hidráulica de classe 1, garantindo paralelismo das faces e precisão na determinação das cargas de ruptura. Os resultados individuais estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão

Corpo de Prova	Carga de Ruptura (N)	fci,ext (MPa)
1	160436,8	23,0
2	96791,6	13,8

Fonte: o autor.

Os resultados evidenciam uma significativa dispersão na resistência do concreto da amostra analisada, com valores variando entre 13,8 MPa e 23,0 MPa. A “baixa” resistência observada pode estar associada à presença de microfissuração interna, à desagregação local da pasta cimentícia ou à formação de produtos expansivos secundários, características compatíveis com o estágio inicial de processos de RAA. Essa redução localizada de resistência reforça a necessidade de correlação com as análises microestruturais e químicas subsequentes, de modo a identificar se a perda de coesão da matriz está vinculada a reações deletérias internas ou à degradação física do material.

3.2.2 Teor de cloretos

O teor de cloretos solúveis em ácido de duas amostras retiradas do bloco em locais distintos, determinados conforme ASTM C1152 (ASTM, 2020) e expressos em percentual sobre a massa de concreto, apresentaram valores de 0,0035%. O concreto avaliado apresentou baixo teor de cloretos totais, caracterizando meio alcalino preservado e ausência de contaminação iônica significativa. O resultado é coerente com o ensaio de carbonatação, que também demonstrou pH satisfatório em toda a profundidade analisada.

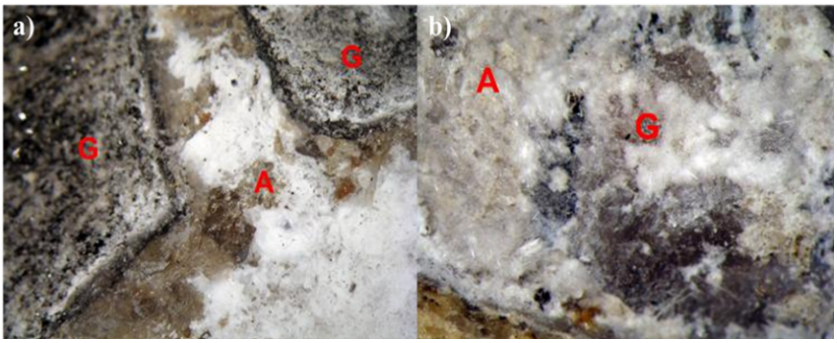
Portanto, os mecanismos de deterioração identificados não estão relacionados à presença de agentes externos do tipo cloretos ou dióxido de carbono, mas a processos de natureza expansiva, compatíveis com as reações RAA e com processos de ataque por sulfatos sugeridos nas análises microestruturais.

3.2.3 Análises microestruturais (ME, MLT, MEV/EDS)

As análises microestruturais evidenciaram características compatíveis com concretos de boa compacidade e homogeneidade, porém apresentando indícios expressivos de reações expansivas internas, observáveis tanto na argamassa quanto nas interfaces agregado/pasta.

A análise ao microscópio estereoscópico, representada na Figura 4, revelou evidências significativas de processos expansivos. Observa-se a presença de material neoformado esbranquiçado preenchendo poros e cobrindo agregados, associado a bordas de reação bem definidas ao redor dos agregados graúdos. Também foram observadas acículas de etringita dispersas na argamassa, cuja origem pode estar associada a processos secundários de ataque por sulfatos, sugerindo possível contribuição da Formação de Etringita Tardia (DEF), ainda que não de forma conclusiva.

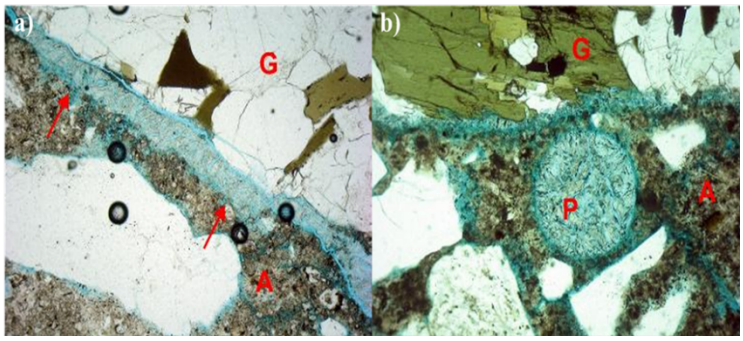
Figura 4 - Análise via ME (6x): a) material neoformado e bordas de reação em agregados; b) acículas de etringita disseminadas na argamassa.



Fonte: o autor.

A análise em microscopia óptica de luz transmitida, representada na Figura 5, complementa as evidências de reações expansivas na amostra. Na imagem a, observa-se a presença de material neoformado na zona de transição entre o agregado graúdo (G) e a argamassa (A), caracterizando a deposição de gel da Reação Álcali-Agregado (RAA) (Hou; Struble; Kirkpatrick, 2004), que compromete a aderência na interface. Paralelamente, a imagem b evidencia poros preenchidos por acículas de etringita.

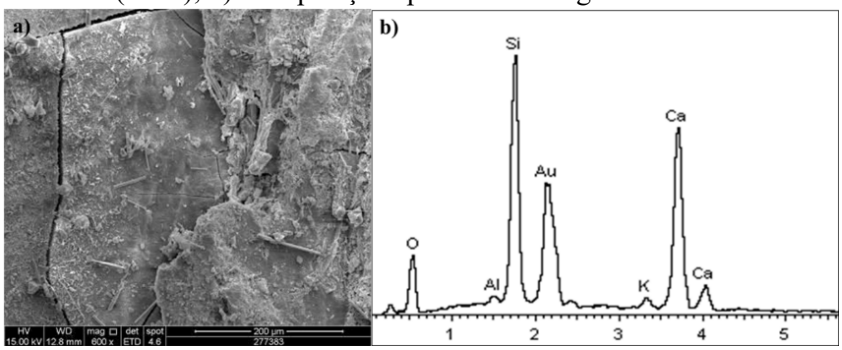
Figura 5 - Análise via MLT (100x): a) material neoformado na interface agregado graúdo (G) e argamassa (A); b) poro preenchido por acículas de etringita (P).



Fonte: o autor.

A análise por MEV, apresentada na Figura 06, forneceu evidências conclusivas sobre os mecanismos de deterioração na amostra. A imagem (a) detalha em maior ampliação a textura do gel, confirmando sua natureza não cristalina. O espectro EDS da imagem (b) revela pico de potássio (K), que pode contribuir para formação do gel de RAA, produto da reação entre uma quantidade significativa de agregado reativo; álcalis (sódio e potássio) disponíveis acima de um nível crítico na estrutura de poros do concreto e a presença de água ou umidade (Diamond, 1975; Helmuth *et al.*, 1993; Fournier; Bérubé, 2000; Hou; Struble; Kirkpatrick, 2004; Rajabipour *et al*., 2015; Shi; Lothenbach, 2020; Da Fonseca *et al*., 2018).

Figura 6 - Análise via MEV/EDS: a) visão geral do gel de RAA desenvolvido sobre agregado graúdo (600x); b) Composição aproximada do gel de RAA.

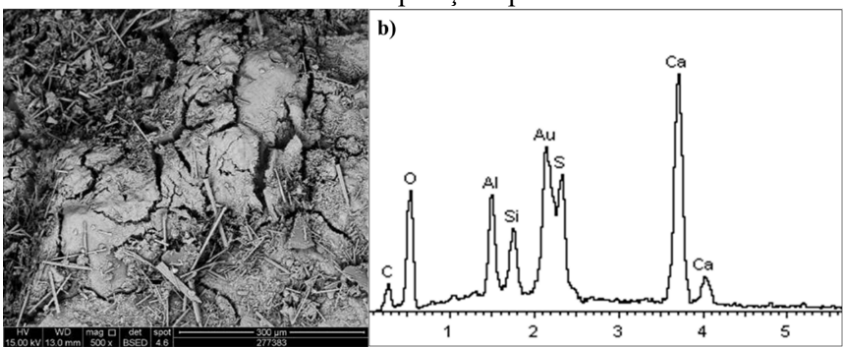


Fonte: o autor.

Ademais, a análise por MEV/EDS complementa a caracterização dos produtos de deterioração na amostra, conforme apresentado na Figura 7. A imagem (a) demonstra a presença de tufos de etringita de grandes dimensões com hábito compactado, distribuídos de forma generalizada na argamassa. O espectro EDS da imagem (b), onde os picos de S, Al, Ca e O característicos da composição química da etringita secundária, podem ser observados (Batic *et al*., 2000; Collepardi, 2003; Ramu *et al*., 2021).

Estas morfologias cristalinas, associadas aos teores elevados de SO_3 identificados nas análises químicas, indicam processo expansivo associado à formação de etringita secundária, atuando simultaneamente com a RAA no processo de degradação do concreto.

Figura 7 - Análise via MEV/EDS: a) acículas de etringita associadas a cristais de portlandita (500x); b) Composição aproximada dos cristais de etringita.

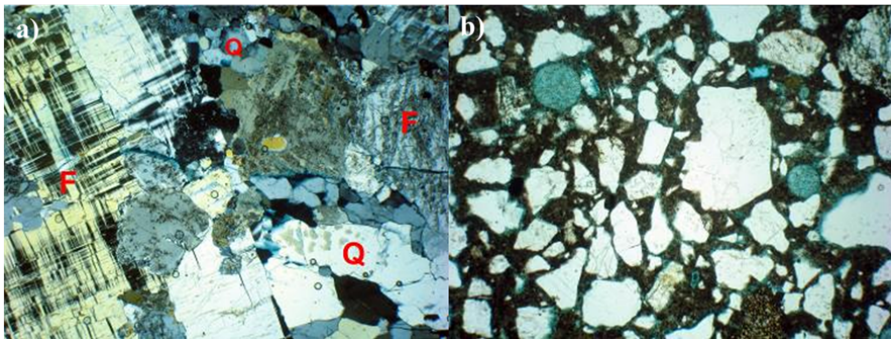


Fonte: o autor.

3.2.4 Análises petrográficas

A análise petrográfica, apresentada na Figura 8, caracterizou a natureza mineralógica dos agregados constituintes do concreto. Na imagem a, observa-se o agregado graúdo com composição predominante de quartzo (Q) e feldspato (F), arranjados em textura granoblástica blastoporfirítica cataclasada, típica da biotita gnaisse identificado. A imagem b detalha o agregado miúdo, constituído por partículas de quartzo subarredondadas a subangulosas de baixa esfericidade. Criticamente, a presença de quartzo microgranular (5-10% da composição) confere ao agregado graúdo característica de potencial reatividade frente aos álcalis do cimento, constituindo fator determinante para o desenvolvimento da Reação Álcali-Agregado (RAA) identificada nas análises microestruturais (Silva, 2016).

Figura 8 - Análise via MLT (25x): a) agregado graúdo com mineralogia predominante de quartzo (Q) e feldspato (F); b) detalhe do agregado miúdo (25x).



Fonte: o autor.

3.2.5 Teores químicos (álcalis e SO_3)

As análises químicas indicaram teores de álcalis solúveis em ácido equivalentes a 0,44% (Eq. Na_2O) no concreto analisado. Esse valor foi obtido a partir da determinação dos teores de Na_2O e K_2O, com cálculo conforme a Equação 1, amplamente adotada como parâmetro de referência para a avaliação da durabilidade do concreto frente à reação álcali-agregado (RAA) (Mehta; Monteiro, 2014; Neville, 2016), a partir dos teores individuais de Na_2O (0,024%) e K_2O (0,638%) determinados na análise química.

$$Na_2Oeq = Na_2O + 0{,}658 \cdot K_2O \quad (1)$$

Onde:
Na_2Oeq = equivalente alcalino (Na_2O equivalente) em porcentagem (%);
Na_2O = teor de óxido de sódio em porcentagem (%);
K_2O = teor de óxido de potássio em porcentagem (%).

Essa relação permite normalizar a contribuição dos diferentes álcalis presentes no material cimentício para a solução dos poros, com base na estequiometria molecular dos óxidos de sódio e potássio (Taylor, 1997).

Para fins de comparação em base volumétrica, adotou-se o valor normativo de 2400 kg/m³, representativo para concretos de massa normal conforme a NBR 6118 (ABNT, 2026), resultando em um teor estimado da ordem de 10,66 kg/m³ de concreto. Ressalta-se que essa conversão possui caráter estimativo, uma vez que depende diretamente da massa específica adotada. Contudo, mesmo admitindo variações dentro da faixa típica (2300-2500kg/m³), o teor de álcalis permanece significativamente elevado, de forma que a interpretação dos resultados não se altera de maneira significativa. Esses teores configuram condições químicas potencialmente favoráveis à formação de géis alcalinos e ao desenvolvimento de produtos expansivos (Fanijo; Kolawole; Almakrab, 2021).

Esses valores situam-se acima daqueles usualmente associados a concretos considerados estáveis do ponto de vista da durabilidade, onde estudos de caso reportam a ocorrência de reação álcali-agregado (RAA) mesmo para conteúdo de álcalis disponíveis significativamente inferiores. Nesse contexto, foram identificadas manifestações de RAA para teores da ordem de 1,8 kg/m³ e 2,3 kg/m³, respectivamente (Ozol, 1990; Ozol; Dusenberry, 1992; Andrade; Figuerôa, 2007).

Em relação ao teor de enxofre total, obteve-se o valor de 0,46% no concreto, o que corresponde a 3,45% sobre a massa de cimento. Na ausência da dosagem original, esse cálculo fundamentou-se na premissa técnica de um consumo de cimento de 320kg/m³ e da massa específica do concreto (2400 kg/m³), valor compatível com as exigências da NBR 12655 (ABNT, 2022) para a agressividade ambiental de Recife.

O teor de enxofre total em relação à massa de cimento foi determinado considerando a estimativa de consumo de cimento e a massa específica adotada, conforme a Equação 2:

$$SO_3, cem = \frac{(SO_3, conc \times \rho)}{C} \quad (2)$$

Onde:
SO_3,cem = teor de trióxido de enxofre em relação à massa de cimento (%);
SO_3,conc = teor de trióxido de enxofre determinado na amostra de concreto (%);
ρ = massa específica adotada para o concreto (2400kg/m³);
C = consumo de cimento estimado (320kg/m³).

Os valores obtidos de SO_3 mostram-se superiores aos níveis usualmente reportados para concretos considerados estáveis, nos quais o teor de SO_3 total tende a situar-se, em geral, abaixo de 0,3–0,5%, e os teores de álcalis equivalentes permanecem inferiores a 0,60% (Eq. Na_2O), conforme indicado por Mehta & Monteiro (2014). Tal condição química indica um meio potencialmente favorável à

ocorrência simultânea da reação álcali-agregado (RAA) e à formação de etringita, aliada ao regime de saturação constante da peça analisada (bloco de concreto do presente estudo, inserido no interior da cisterna), conforme discutido por Collepardi (2003).

Somado a isso, a saturação constante da peça, a via mais provável para a formação de produtos sulfatados expansivos corresponde ao ataque por sulfatos, atuando de forma associada aos mecanismos da RAA, conforme discutido por Hasparyk, Kuperman e Torres (2016). A convergência desses dados químicos com as evidências é interpretada de maneira integrada às evidências microestruturais (MEV/EDS) e petrográficas, reforçando o diagnóstico do quadro patológico observado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados experimentais evidenciam que o bloco de fundação analisado apresenta deterioração associada a mecanismos expansivos combinados:

1. Reação Álcali-Agregado (RAA): caracterizada pela presença de gel sílico-alcalino e pela utilização de agregados potencialmente reativos (gnaisse com quartzo tensionado), associada a elevado teor de álcalis (10,66 kg/m³).

2. Ataque por Sulfatos/Etringita Secundária: evidenciado pela cristalização intensa de etringita nos poros e fissuras, associada ao teor de sulfatos (3,45% sobre a massa de cimento) e ao regime de umidade constante.

O conjunto das evidências indica um quadro de degradação química relevante, com comprometimento da integridade microestrutural do concreto, demandando estratégias de reabilitação que considerem o controle da umidade e a mitigação das reações expansivas identificadas.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). ACI 228.2R - **Nondestructive test methods for evaluation of concrete in structures**. Farmington Hills: ACI, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM C1152 - **Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete**. West Conshohocken: ASTM International, 2020.

ANDRADE, T.; FIGUEIRÔA, J. P. **O ataque da reação álcali-agregado sobre as estruturas de concreto - a descoberta pioneira da ocorrência do problema em fundações de ponte e edifícios na Região Metropolitana do Recife.** Recife: Universitária da UFPE, 2007. 228 p.

ANDRADE, Tibério Wanderley Correia de Oliveira. **Efeito da distribuição microestrutural de fases mineralógicas na susceptibilidade de rochas da região Nordeste para o desenvolvimento da reação álcali-agregado**. 2019. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16747: **Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7680: **Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos - Procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2026.

BATIC, Oscar R *et al*. Secondary ettringite formation in concrete subjected to different curing conditions. **Cement And Concrete Research**, [S.L.], v. 30, n. 9, p. 1407-1412, set. 2000. Elsevier BV.

BELGHALI, Mohammed *et al*. The influence of sulfate attack on existing concrete bridges: study of external sulfate attack (esa). **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 483, p. 141751, jul. 2025. Elsevier BV.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). BS 1881-204:1988 - **Testing concrete – Recommendations on the use of electromagnetic covermeters**. London: BSI, 1988.

COLLEPARDI, M.. A state-of-the-art review on delayed ettringite attack on concrete. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 25, n. 4-5, p. 401-407, maio 2003. Elsevier BV.

COSTA, Eliane Betânia Carvalho *et al*. Assessment of Premature Failures in Concrete Railway Ties: a case study from brazil. **Materials**, [S.L.], v. 18, n. 13, p. 2994, 24 jun. 2025. MDPI AG.
DA FONSECA, J. M. M., et al. Alkali-Aggregate Reaction: Definition, Influence and Control. **Eng. Appl**. Sci, 2018, 3: 12.

CHÉRUEL, É.; FTIMA, M. Alkali–aggregate reaction in concrete structures: mechanisms, diagnosis and durability implications. **Materials**, v. 16, 2023.

DIAMOND, Sidney. A review of alkali-silica reaction and expansion mechanisms 1. Alkalies in cements and in concrete pore solutions. **Cement And Concrete Research**, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 329-345, jul. 1975. Elsevier BV.

FANIJO, Ebenezer O.; KOLAWOLE, John Temitope; ALMAKRAB, Abdullah. Alkali-silica reaction (ASR) in concrete structures: mechanisms, effects and evaluation test methods adopted in the united states. **Case Studies In Construction Materials**, [S.L.], v. 15, dez. 2021. Elsevier BV.

FERNANDES, Isabel; BROEKMANS, Maarten A. T. M.. Alkali–Silica Reactions: an overview. part i. **Metallography, Microstructure, And Analysis**, [S.L.], v. 2, n. 4, p. 257-267, 26 jul. 2013. Springer Science and Business Media LLC.

FOURNIER, B.; BÉRUBÉ, M. A. Alkali-aggregate reaction in concrete: a review of basic concepts and engineering implications. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 27, n. 2, p. 167-191, 2000.

GRIFFITHS, Steve *et al*. Decarbonizing the cement and concrete industry: a systematic review of socio-technical systems, technological innovations, and policy options. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 180, p. 113291, jul. 2023. Elsevier BV.

HASPARYK, N. P. et al. Global analysis of DEF damage to concretes with and without fly-ash. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 15, n. 3, 2022.

HASPARYK, N. P.; KUPERMAN, S. C.; TORRES, J. R. **Combined attack from AAR and DEF in the foundation blocks of a building**. In: *15th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR)*, 2016, São Paulo. Proceedings… São Paulo: ICAAR, 2016.

HELMUTH, R.; STARK, D.; DIAMOND, S.; MORANVILLE-REGOURD, M. *Alkali-Silica Reactivity: An Overview of Research*. Washington, D.C.: **Strategic Highway Research Program (SHRP)**, National Research Council, 1993.

HOU, Xiaoqiang; STRUBLE, Leslie J.; KIRKPATRICK, R.James. Formation of ASR gel and the roles of C-S-H and portlandite. **Cement And Concrete Research**, [S.L.], v. 34, n. 9, p. 1683-1696, set. 2004. Elsevier BV.

INTERNATIONAL UNION OF LABORATORIES AND EXPERTS IN CONSTRUCTION MATERIALS, SYSTEMS AND STRUCTURES (RILEM). RILEM CPC-18: **Measurement of hardened concrete carbonation depth**. Paris: RILEM Publications, 1988.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MIAO, Y. *et al*. Unrestrained ASR volumetric expansion for mass concrete structures: Review and experimental investigation using 3d laser scanning. **Construction and Building Materials**, v. 399, 132565, 2023.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OLAJIDE, O. D.; NOKKEN, M. R.; SANCHEZ, L. F. M. Alkali–Silica Reactions: literature review on the influence of moisture and temperature and the knowledge gap. **Materials**, v. 17, n. 1, p. 10, 2023.

OLLIVIER, Jean-Pierre; VICHOT, Angélique. **Durabilidade do concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente**. Tradução de: Oswaldo Cascudo e Helena Carasek. São Paulo: IBRACON, 2014. 606 p.

OZOL, M. A. Alkali-Silica Reaction of Concrete in Electrical Substation Piers Accelerated by Electrical Currents, Petrography Applied to Concrete and Concrete Aggregates, **ASTM STP 1061**, B. Erlin and D. Stark, eds., pp. 106-120, 1990.

OZOL, M.A.; DUSENBERRY, D.O., Deterioration of Precast Panels with Crushed Quartz Coarse Aggregate due to Alkali–Silica Reaction, SP-131 (**American Concrete Institute**, Farmington Hills, 1992), pp. 407–415

RAJABIPOUR, F. et al. Alkali–silica reaction: current understanding of the reaction mechanisms and the knowledge gaps. **Cement and Concrete Research**, v. 76, p. 130-146, 2015.

RAMU, Y. K. et al. Evaluating the impact of curing temperature in delayed ettringite formation using electrochemical impedance spectroscopy. **Construction and Building Materials**, v. 282, p. 122726, 2021.

SANJEEWA, Hakmana Vidana Arachchige Nuwan; ASAMOTO, Shingo. A review of mechanical properties of deteriorated concrete due to delayed ettringite formation and its influence on the structural behavior of reinforced concrete members. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 422, p. 135795, abr. 2024. Elsevier BV.

SELLIER, Alain; MULTON, Stéphane. Chemical modelling of Delayed Ettringite Formation for assessment of affected concrete structures. **Cement And Concrete Research**, [S.L.], v. 108, p. 72-86, jun. 2018. Elsevier BV.

SHI, Caijun; KRIVENKO, Pavel V.; ROY, Della. **Alkali-activated cements and concretes**. Abingdon: Taylor & Francis, 2006. 388 p. ISBN 0-415-70004-3.

SHI, Z.; LOTHENBACH, B. The combined effect of potassium, sodium and calcium on the formation of alkali-silica reaction products. **Cement and Concrete Research**, v. 127, p. 105914, 2020.

SILVA, F. A. N. et al. Alkali-Aggregate Reaction - Brazil Experience. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 21.22, p. 6879-6892, 2016.

SILVA, J. R. P. **Reação álcali-agregado: influência da granulometria do agregado**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2016.

SIMS, Ian; POOLE, Alan. **Alkali-aggregate reaction in concrete: a world review**. London: Taylor & Francis, 2017. 805 p.

SWAMY, R. N. (Ed.). **The alkali-silica reaction in concrete.** Glasgow: Blackie and Son, 1992. 348 p. ISBN 0-216-92691-2.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. 2. ed. London: Thomas Telford, 1997.

TORRES, I. F.; ANDRADE, T.. Risk analysis of the delayed ettringite formation in pile caps foundation in the metropolitan region of Recife - PE - Brasil. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 357-394, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO).

TORRES, Igor Ferraz; TORRES, Sandro Marden; ANDRADE, Tibério. From risk study to field evidence: an unprecedented and isolated case of delayed ettringite formation in brazil. **Magazine Of Concrete Research**, [S.L.], v. 76, n. 18, p. 1033-1047, 1 set. 2024. Emerald.

CAPÍTULO 79 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/n6wwyn66
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/6p59bg65

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM LAJE DE COBERTURA EM EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM FORTALEZA/CE

Allefy Teles Sampaio[1]*, Everson Albuquerque[2]; Jair Velozo[3]; Willames de Albuquerque[4] e Eliana Barreto[5]
*Autor de contato: ats1@poli.br

[1] Engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[2] Engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[3] Engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[4] Engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[5] Engenharia Civil/ICANTECH, Universidade de Pernambuco/Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil

RESUMO

Este artigo apresenta uma avaliação das inconformidades na execução de sistemas de impermeabilização de laje de cobertura em um condomínio residencial. O estudo, de caráter exploratório-descritivo e baseado exclusivamente em inspeção visual conforme a NBR 16747 (ABNT, 2020), teve como objetivo identificar as principais patologias, suas causas e implicações. As anomalias mais frequentemente observadas incluíram perda de aderência da manta, tubulações expostas sem proteção adequada, mantas em processo de desintegração e falhas de caimento, as quais foram detalhadamente classificadas por localização, características, possíveis causas e implicações. Os resultados indicaram que estas falhas ocasionaram infiltrações pontuais em quatro unidades privativas, acompanhadas de empolamento de revestimentos, e que o custo estimado para a correção atinge R\$ 32.000,00, correspondendo a 25% do valor total da obra de impermeabilização. A análise das causas apontou a mão de obra não qualificada, a ausência de controle de qualidade e a deficiência do projeto executivo como fatores preponderantes. Conclui-se pela necessidade urgente de qualificação profissional, fiscalização rigorosa e detalhamento técnico para assegurar a longevidade das edificações e mitigar impactos financeiros e de conforto aos usuários.

Palavras-chave: *Impermeabilização; Laje de cobertura; Inconformidades; Patologias; Condomínios residenciais.*

ABSTRACT

This article presents an evaluation of non-conformities in the execution of slab roof waterproofing systems in a residential condominium. The study, exploratory-descriptive in nature and based exclusively on visual inspection according to NBR 16747 (ABNT, 2020), aimed to identify the main pathologies, their causes, and implications. The most frequently observed anomalies included loss of membrane adhesion, exposed piping without adequate protection, disintegrating membranes, and drainage failures, all of which were thoroughly classified by location, characteristics, possible causes, and implications. Results indicated that these failures led to localized infiltrations in four private units, accompanied by plaster blistering, and that the estimated correction cost reaches R\$ 32,000.00, corresponding to 25% of the total waterproofing work value. The analysis of causes pointed to unqualified labor, lack of quality control, and

deficient executive design as predominant factors. It is concluded that there is an urgent need for professional qualification, rigorous supervision, and detailed technical specifications to ensure building longevity and mitigate financial and comfort impacts on users.

Keywords: *Waterproofing; Roof slab; Non-conformities; Pathologies; Residential condominiums.*

1. INTRODUÇÃO

A impermeabilização de lajes de cobertura é um componente construtivo essencial em edificações residenciais, atuando como barreira primária contra a ação deletéria da água e da umidade. Sua funcionalidade é vital para a preservação estrutural, a manutenção do conforto ambiental e a proteção dos bens internos. No cenário dos condomínios residenciais, a eficácia desse sistema ganha ainda mais relevância, pois falhas podem impactar múltiplos usuários e gerar complexas demandas de reparo. A Norma Brasileira Regulamentadora NBR 9574 (ABNT, 2008) estabelece os procedimentos e requisitos para a correta execução da impermeabilização, visando garantir a estanqueidade e a longevidade dos sistemas.

Apesar da clareza das diretrizes normativas, as deficiências na execução da impermeabilização são uma fonte recorrente de manifestações patológicas em edificações. Segundo Righi (2009), tais falhas são responsáveis por grande parte dos problemas de desempenho, acarretando não apenas custos elevados de manutenção, mas também a redução da vida útil das construções. Raneri (2022) aponta que as infiltrações decorrentes de falhas na impermeabilização representam aproximadamente 40% dos problemas patológicos identificados em edificações brasileiras, demonstrando a magnitude do problema no país.

Esta problemática não se restringe apenas ao aspecto técnico e econômico da degradação prematura dos materiais construtivos, mas se estende ao desconforto dos usuários e à desvalorização do patrimônio (Santos, 2021). Diante desse cenário, a avaliação das inconformidades na execução de impermeabilização torna-se fundamental para compreender as origens das patologias, propor soluções eficazes e contribuir para a melhoria da qualidade construtiva. Assim, o presente trabalho se propõe a analisar detalhadamente as não conformidades observadas em lajes de cobertura de condomínios residenciais.

As infiltrações decorrentes de falhas na impermeabilização representam aproximadamente 40% dos problemas patológicos identificados em edificações brasileiras (Carvalho, 2019). Esta problemática gera não apenas desconforto aos usuários, mas também degradação prematura dos materiais construtivos e redução significativa da vida útil das estruturas. O presente trabalho tem como objetivo avaliar as principais inconformidades na execução de impermeabilização de laje de cobertura em condomínio residencial, identificando suas causas.

2. METODOLOGIA

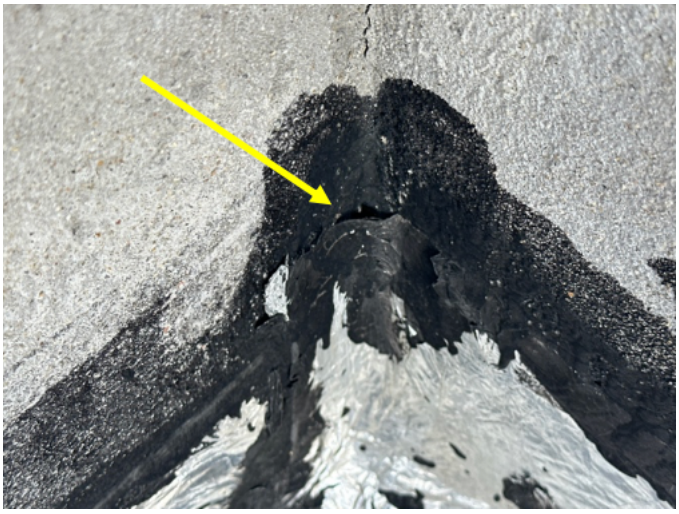
A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso exploratório-descritivo, focando em um condomínio residencial localizado na região metropolitana, que compreende 1 bloco de 4 pavimentos a e uma área de cobertura total de aproximadamente 1.000 m². Para a coleta de dados, realizou-se uma inspeção visual da laje de cobertura, seguindo as diretrizes da NBR 16747 (ABNT, 2020), com registro fotográfico das anomalias identificadas para documentação. As anomalias detectadas durante a inspeção foram registradas, e cada uma delas foi classificada individualmente

com base em sua localização, características observadas, possíveis causas e implicações para o sistema de impermeabilização**.**

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A perda de aderência da manta asfáltica é uma das anomalias mais comuns em sistemas de impermeabilização, impactando diretamente a durabilidade e funcionalidade. Como apontado por Salgado (2020), a identificação precisa das causas é fundamental para um reparo eficaz.

Quadro 1 – Perda de aderência de manta

Registro fotográfico	Descrição de anomalias
	**Localização:** Encontros da laje com elementos verticais e, em menor escala, áreas de plano.
	Características: Bolhas, enrugamento, descolamento visível da manta da superfície da laje, formando bolsas de ar. O descolamento é predominantemente pontual.
	Possíveis causas: Preparação inadequada da superfície, aplicação deficiente do primer ou secagem insuficiente, temperatura inadequada na colagem da manta, baixa qualidade do adesivo ou da manta.
	Implicações: Comprometimento da estanqueidade, migração de água sob a manta, infiltrações localizadas ou generalizadas no pavimento inferior, surgimento de umidade e manchas, redução da vida útil da impermeabilização.

Fonte: os autores.

A perda de aderência da manta asfáltica é uma das patologias mais comuns e críticas em sistemas de impermeabilização. Conforme salientado por Alves (2022), a aderência adequada entre a manta e o substrato é essencial para o bom desempenho do sistema. A NBR 9574 (ABNT, 2014) preconiza a correta preparação da base, que inclui limpeza, regularização e aplicação de *primer*, etapas que, quando negligenciadas, culminam no problema de descolamento. As bolhas observadas são indicativos claros de vapor d'água ou ar aprisionado, que buscam expandir, comprometendo a união entre as camadas. O estudo de Righi (2009) sobre a patologia de argamassas reforça a necessidade de compatibilidade e boa preparação de superfícies para evitar problemas de interface, diretamente aplicável à base de uma impermeabilização.

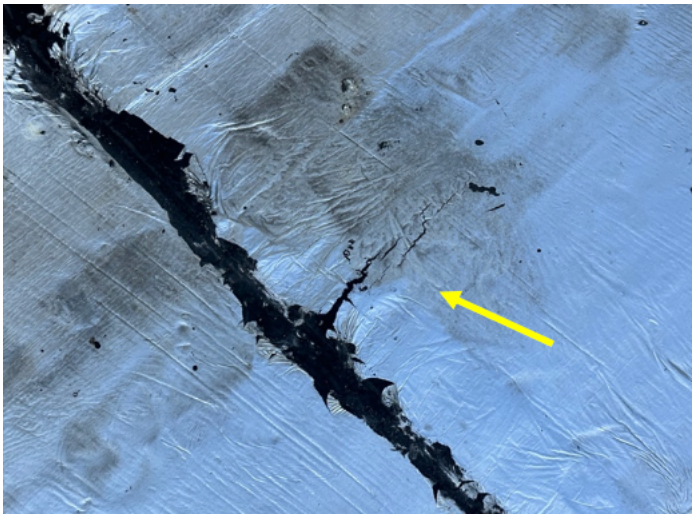
Quadro 2 – Tubulação exposta

Registro fotográfico	Descrição de anomalias
	**Localização:** Pontos de travessia da laje por tubulações.
	Características: Tubulações sem tratamento específico de impermeabilização no entorno ou com vedação improvisada. Ausência de proteção mecânica contra impactos e intemperies.
	Possíveis causas: Falhas no projeto de impermeabilização, erros ou omissões na execução do detalhe, inadequação do sistema de impermeabilização para acomodar dilatações das tubulações, ausência de proteção mecânica.
	Implicações: Pontos críticos de infiltração, deterioração acelerada das tubulações, necessidade de manutenção corretiva prematura e frequente, comprometimento da estanqueidade do sistema.

Fonte: os autores.

A presença de tubulações em áreas impermeabilizadas é um desafio constante, sendo os detalhes construtivos em torno dessas passagens pontos de alta vulnerabilidade. O Instituto Brasileiro de Impermeabilização (2018) destaca a importância de um detalhamento minucioso e execução cuidadosa em todos os pontos singulares, incluindo as tubulações, que são elementos de interferência na continuidade da manta. A ausência de uma proteção mecânica adequada expõe não apenas o sistema impermeabilizante a danos físicos, mas também as próprias tubulações aos efeitos da radiação UV e variações térmicas, como mencionado por Moraes (2002) ao abordar a durabilidade dos materiais expostos. A NBR 9574 (ABNT, 2014) especifica a necessidade de tratamentos específicos para arremates em tubulações, como o uso de reforços e *flanges*, requisitos que não foram atendidos nos casos observados.

Quadro 3 – Manta em proceso de desintegração

Registro fotográfico	Descrição de anomalias
	**Localização:** Áreas da laje diretamente expostas à radiação solar (raios UV).
	Características: Degradação da manta: desfazimento de material, ressecamento, alteração de coloração.
	Possíveis causas: Exposição prolongada à radiação UV, envelhecimento natural acelerado por condições severas, baixa qualidade da manta, danos mecânicos (impactos, abrasão), ação de agentes químicos.
	Implicações: Perda total ou parcial da capacidade impermeabilizante, infiltrações generalizadas, comprometimento grave da estanqueidade da laje, necessidade de substituição completa do sistema em prazo inferior ao esperado.

Fonte: os autores.

A desintegração da manta asfáltica é um indicativo claro de falha na proteção do sistema. A NBR 9952 (ABNT, 2014) define as características e requisitos para a manta asfáltica, mas sua durabilidade está intrinsecamente ligada à sua proteção contra agentes agressivos. A radiação ultravioleta é o principal inimigo das mantas asfálticas expostas, acelerando o processo de envelhecimento e ressecamento do betume, levando à perda de flexibilidade e ao surgimento de fissuras. Bauer (2010) enfatiza a essencialidade da proteção mecânica em lajes de cobertura para garantir a longevidade da impermeabilização, protegendo-a contra os raios UV, agressões mecânicas e variações térmicas. A ausência ou insuficiência dessa proteção torna a manta vulnerável e invariavelmente leva à sua desintegração precoce, resultando em perdas de estanqueidade e infiltrações generalizadas.

Quadro 4 – Falha de caimento

Registro fotográfico	Descrição de anomalias
	**Localização:** Diversos pontos da laje de cobertura, especialmente áreas distantes dos ralos. **Características:** Formação de "poças" de água que não escoam completamente após períodos de chuva. Presença de musgos, algas, sujeira ou sedimentos acumulados em pontos de estagnação. **Possíveis causas:** Execução inadequada, sem as inclinações mínimas. Falha de projeto com inclinações insuficientes. **Implicações:** Sobrecarga adicional na estrutura, aceleração da deterioração da manta impermeabilizante, diminuição da vida útil, aumento do risco de infiltrações devido à pressão hidrostática, proliferação de microrganismos.

Fonte: os autores.

A falha de caimento, caracterizada pelo acúmulo de água na superfície da laje, é uma inconformidade que compromete seriamente a vida útil da impermeabilização. A NBR 9574 (ABNT, 2008) é categórica ao exigir uma inclinação mínima de 1% para as superfícies a serem impermeabilizadas, garantindo o escoamento eficiente da água. A não observância dessa recomendação, seja por falha no projeto ou na execução do contrapiso, leva à estagnação de água, que é extremamente prejudicial. O acúmulo prolongado de água submete a manta a uma condição de submersão constante, acelerando seu envelhecimento e fragilizando suas propriedades mecânicas, além de gerar pressão hidrostática sobre as emendas e pontos singulares, aumentando consideravelmente o risco de infiltrações. A NBR 16747 (ABNT, 2020) que trata da inspeção predial, inclui explicitamente a verificação de empoçamentos como um indicador de anomalia, reforçando sua importância.

As inconformidades detalhadas acima resultaram em manifestações patológicas significativas, com infiltrações pontuais identificadas em 4 unidades privativas, acompanhadas de empolamento de revestimento e infiltração aparente. O custo estimado para correção das anomalias é de R$ 32.000,00, o que representa 25% do valor total da obra de impermeabilização, evidenciando o alto impacto financeiro da má execução.

Tabela 1 – Relação de frequência e impacto

Causa identificada	Frequência	Impacto
Mão de obra não qualificada	Alto	Crítico
Falta de controle de qualidade	Alto	Crítico
Projeto executivo deficiente	Médio	Maior
Falta/falha de acompanhamento	Alto	Crítico

Fonte: os autores.

A análise das causas para o conjunto das anomalias revelou que a mão de obra não qualificada e a falta de controle de qualidade durante a execução são fatores de alto risco e impacto crítico. Falhas no projeto executivo, com detalhes insuficientes, também contribuem significativamente. As condições climáticas adversas, embora com menor frequência, podem agravar as anomalias existentes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo, focado na avaliação das inconformidades na execução de impermeabilização em um condomínio residencial, revelou a prevalência de patologias críticas como a perda de aderência da manta, a exposição inadequada de tubulações, a desintegração do sistema e as falhas de caimento, que resultaram em infiltrações pontuais em unidades privativas e empolamento de revestimentos. A análise indicou que as principais causas para tais problemas residem na mão de obra não qualificada, na deficiência de controle de qualidade e em projetos executivos incompletos, culminando em um custo de correção significativo de R$ 32.000,00, equivalente a 20% do valor total da obra de impermeabilização. Este cenário reforça a urgência da implementação de medidas preventivas, da qualificação profissional, do rigor na fiscalização e do detalhamento técnico em todas as etapas do processo construtivo para assegurar a durabilidade das edificações e evitar os altos custos e inconvenientes associados à má execução.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574**: Execução de impermeabilização. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9952**: Manta asfáltica com armadura para impermeabilização - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747**: Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro, 2020.

ALVES, V. F. **Análise e viabilidade dos sistemas de impermeabilização rígido e flexível em edificações,** Monografia (Graduação Engenharia Civil) – Centro Universitário do Planalto Central Apparecido dos Santos – UNICEPLAC, Gama, 2022.

BAUER, E., VASCONCELOS, P. H. C., GRANATO, J. E. Sistemas de impermeabilização e isolamento térmico. In: ISAIA, G. C. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia dos materiais. São Paulo: Ed. IBRACON, 2010.

CARVALHO, J. P. de. Compatibilidade na interface entre sistemas construtivos. 2019. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019
INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. **Manual técnico de impermeabilização de edificações**. São Paulo: Pini, 2018.
MORAES, A. F. **Impermeabilização na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2002.

SALGADO, J. C. P. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. 4. ed. São Paulo: editora Érica, 2020.

SANTOS, J. A. B. dos. **Avaliação da transferência de fissuras em sistemas de impermeabilização aderidos por meio da técnica de correlação de imagens digitais**. 2021. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2021

RANERI, S.; BARONE, G.; MAZZOLENI, P.; ALFIERI, I.; BERGAMONTI, L.; DE KOCK, T.; CNUDDE, V .; LOTTICI, P.P.; LORENZI, A.; PREDIERI, G.; RABOT, E.; TEIXEIRA, J. **Efficiency assessment of hybrid coatings for natural building stones: Advanced antimulti-scale laboratory investigation.** Construction and Building Materials, v.180, p. 412–424, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.289>. Acesso em: 16 jul.2022.

RIGHI, G. V. **Estudo experimental de argamassa de cimento Portland para fins de impermeabilização**. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

CAPÍTULO 80 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/169e6q91
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/n3wpyh37

AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA E DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES AFETADAS POR INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO

Andresa Sonda[1]*, Felipe Schneider[2]; Bernardo Tutikian[3]
*Autor de contato:andresasonda.engenharia@gmail.com
[1] ÁS Engenharia, Encantado/RS, Brasil
[2] Universidade do Vale do Taquari, Lajeado/RS, Brasil
[3] Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo/RS, Brasil

RESUMO

Este artigo avalia a segurança estrutural e apresenta as manifestações patológicas observadas em três edificações afetadas pela inundação ocorrida em maio de 2024 no Vale do Taquari, Rio Grande do Sul. O trabalho apresenta os resultados obtidos em inspeções técnicas *in loco*, registro fotográfico sistemático e análise qualitativa das evidências observadas, articuladas com a revisão bibliográfica sobre mecanismos de dano associados a inundações. Os resultados indicam que as principais manifestações estiveram relacionadas às ações hidrodinâmicas, à saturação do solo e aos efeitos da umidade sobre materiais e sistemas prediais, sendo o recalque diferencial um dos danos mais recorrentes. Danos em instalações elétricas e hidrossanitárias foram constatados nas três edificações, enquanto efeitos associados à biodeterioração e perda de aderência de revestimentos foram registrados em apenas uma delas. Não foram identificadas evidências de colapso estrutural atribuíveis exclusivamente a ações hidrostáticas. A análise evidencia que edificações implantadas sobre aterro apresentaram maior suscetibilidade a danos geotécnicos. O estudo reforça a importância de inspeções pós-inundação para avaliação de riscos estruturais e aponta limitações relacionadas à ausência de ensaios complementares para avaliação de degradação de materiais em longo prazo.
Palavras-chave: inundação; inspeção pós-inundação; ações hidrostáticas; ações hidrodinâmicas

ABSTRACT

This paper assesses the structural safety and presents the damages observed in three buildings affected by the flood that occurred in May 2024 in the Taquari Valley, Rio Grande do Sul. The study reports the results obtained from on-site technical inspections, systematic photographic records, and qualitative analysis of the observed evidence, articulated with a literature review on damage mechanisms associated with flooding. The findings indicate that the main manifestations were related to hydrodynamic actions, soil saturation, and the effects of moisture on materials and building systems, with differential settlement being one of the most recurrent damages. Damage to electrical and plumbing and sanitary systems was identified in all three buildings, whereas effects associated with biodeterioration and ebonding of coatingswere recorded in only one of them. No evidence of structural collapse attributable exclusively to hydrostatic actions was identified. The analysis shows that buildings founded on fill material exhibited greater susceptibility to geotechnical damage. The study reinforces the importance of post-flood inspections for structural risk assessment and highlights limitations related to the absence of complementary tests for evaluating long-term material degradation.
Keywords: flood; post-flood inspection; hydrostatic actions; hydrodynamic actions

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A análise da integridade e do desempenho de edificações submetidas a eventos hidrológicos extremos, notadamente inundações e enchentes, constitui um campo de investigação fundamental para a engenharia civil e a patologia das construções, exigindo uma compreensão sistêmica que integre a hidrologia, a mecânica das estruturas e a ciência dos materiais. A delimitação precisa do fenômeno é o ponto de partida para qualquer avaliação técnica rigorosa. Conforme estabelecido por Schneider e Tutikian (2024), é importante distinguir enchente, entendida como a elevação do nível d'água nos canais de drenagem devido às chuvas intensas, da inundação, que caracteriza o transbordamento dessas águas para áreas habitualmente secas, atingindo a infraestrutura construída. O impacto desses eventos sobre o ambiente construído não se restringe ao mero contato da água com os materiais de construção, mas envolve uma complexa interação de forças físicas e reações químicas. A Patologia das Construções, definida por Bolina, Tutikian e Helene (2019) como a ciência que estuda os defeitos e falhas em edificações (abrangendo desde a origem (causa) até a manifestação (sintoma) e as consequências), fornece o arcabouço teórico necessário para diagnosticar os mecanismos de degradação deflagrados por essas ações. Nesse contexto, a avaliação da segurança estrutural e da resiliência das edificações situadas em bacias hidrográficas demanda uma abordagem que correlacione as características do perigo, como profundidade de submersão, velocidade do fluxo e duração do evento, com a vulnerabilidade intrínseca das tipologias construtivas e a durabilidade dos materiais empregados (Alfian et al., 2025; Becker, 2005; Maiwald; Schwarz, 2012; Schneider; Tutikian, 2024)

Os danos observados nas edificações em decorrência da sua exposição à uma inundação é resultante de uma combinação multifacetada de mecanismos de carga e processos de degradação físico-química. Schneider e Tutikian (2024) classificam as ações das inundações sobre as edificações em categorias distintas, sendo as principais as forças hidrostáticas, as forças hidrodinâmicas, a erosão e as ações de detritos, distinção similar à adotada por Kelman e Spence (2004). As cargas hidrostáticas, decorrentes da diferença de nível de água entre o interior e o exterior da edificação ou da saturação do solo adjacente, podem gerar pressões laterais capazes de causar o colapso de paredes de alvenaria, a ruptura de vidros e, em casos extremos, a flutuação da estrutura devido ao empuxo, especialmente em sistemas construtivos leves como construções de madeira ou alvenaria não estrutural (Schneider; Tutikian, 2024) ou em presença de subsolos não inundados (Becker, 2005; Kelman; Spence, 2004; Schneider; Tutikian, 2024). Por outro lado, as cargas hidrodinâmicas, governadas pela velocidade do fluxo da água, introduzem tensões adicionais que podem deslocar a edificação de suas fundações ou causar falhas globais por arrastamento (Maiwald; Schwarz, 2012; Kelesoglu et al., 2022; Schneider; Tutikian, 2024). A magnitude dessas forças é frequentemente exacerbada pela presença de detritos transportados pelo fluxo, que atuam como projéteis, causando danos localizados por impacto ou acumulando-se em pilares e paredes, o que aumenta a área de obstrução e, consequentemente, a carga hidráulica sobre a estrutura (Kelesoglu et al., 2022; Oetjen; Bessette, 2023). Adicionalmente, Schneider e Tutikian (2024) alertam para o risco severo de deslizamentos de terra em áreas de encosta, onde a saturação do solo desencadeada pelas chuvas intensas que precedem a inundação pode desestabilizar fundações, mesmo em edificações que não foram atingidas diretamente pela lâmina d'água.

Além das ações mecânicas imediatas, é importante conferir atenção à severidade dos mecanismos de degradação dos materiais deflagrados pela presença de umidade e contaminantes. Bolina, Tutikian e Helene (2019) elucidam que a água atua como um veículo para agentes agressivos e como um eletrólito essencial para processos eletroquímicos, como a corrosão de armaduras em

estruturas de concreto armado. A penetração de íons cloreto (em inundações costeiras ou águas contaminadas) e a carbonatação acelerada são mecanismos que podem comprometer a durabilidade a longo prazo, mesmo que a estrutura não apresente colapso imediato. Além das estruturas de concreto armado, elementos construtivos de alvenaria expostos à saturação prolongada podem sofrer com a lixiviação de compostos, eflorescências e perda de resistência mecânica (Bolina; Tutikian; Helene, 2019). No caso de estruturas de madeira, Becker (2005) e Balasbaneh et al. (2020) alertam para a vulnerabilidade crítica à variação de umidade, que provoca expansão e contração volumétrica (instabilidade dimensional), além de criar condições favoráveis para o ataque biológico por fungos e insetos, comprometendo a integridade estrutural. Ezeokoli, Okoye e Ugochukwu (2015) corroboram essa vulnerabilidade material ao relatar que, em inundações na Nigéria, edifícios construídos com materiais de base argilosa sofreram degradação severa e colapso, enquanto construções de blocos de concreto apresentaram maior resiliência estrutural, embora não tenham ficado imunes a danos nas fundações e camadas de acabamentos. Ainda, Schneider e Tutikian (2024) enfatizam que as instalações elétricas representam um risco crítico à segurança pós-inundação devido à vulnerabilidade dos componentes à água e à oxidação de partes metálicas em disjuntores, exigindo substituição imediata de elementos submersos para evitar curto-circuitos e incêndios. Os autores ainda destacam que, no âmbito dos materiais, as movimentações higroscópicas, causadas pela variação no teor de umidade, provocam variações dimensionais em materiais porosos como madeira e alvenaria, resultando em fissuras que podem ser confundidas com danos estruturais, mas que possuem configurações típicas de variação volumétrica.

No tocante às variáveis determinantes para a estimativa e previsão de danos, a profundidade da inundação tem sido considerada a variável explanatória primária nos modelos de análise de risco e curvas de danos, conforme discutido por Scawthorn et al. (2006) no contexto da metodologia HAZUS-MH e reafirmado por Moya Barbera et al. (2024) em estudo de caso na Espanha. Estes modelos assumem que o dano é uma função direta da altura da lâmina d'água dentro da edificação. No entanto, abordagens mais contemporâneas e detalhadas contestam a suficiência da profundidade como único preditor de danos estruturais graves. Maiwald e Schwarz (2012) e Maiwald et al. (2022), ao analisarem eventos de cheias na Alemanha, argumentam enfaticamente que a velocidade do fluxo e a altura de energia específica são cruciais para a ocorrência de danos estruturais severos, como colapso de paredes e falhas globais no sistema estrutural. Segundo estes autores, em zonas de fluxo rápido, a pressão dinâmica prevalece sobre a hidrostática, tornando os modelos baseados apenas em profundidade inadequados para prever a estabilidade estrutural. Complementarmente, Alfian et al. (2025) e Haque et al. (2023) introduzem a duração da inundação como uma variável crítica, demonstrando estatisticamente que o tempo de permanência da água possui um efeito não linear e sinérgico na degradação dos materiais e na severidade dos danos, especialmente em tipologias habitacionais não permanentes ou construídas com materiais absorventes.

A comparação entre as diferentes tipologias construtivas revela disparidades notáveis na resiliência frente às inundações. Edificações de alvenaria estrutural e concreto armado tendem a apresentar maior robustez contra forças hidrodinâmicas e impacto de detritos em comparação com estruturas de madeira ou alvenaria não estrutural (Balasbaneh et al., 2020; Maiwald et al., 2022), devido ao seu maior peso próprio e maior rigidez (Schneider; Tutikian, 2024). Maiwald e Schwarz (2012) propõem uma classificação de vulnerabilidade do estoque de edifícios (HW-A a HW-E), onde edifícios de alvenaria de tijolos ou pedra (classes HW-C e HW-D) mostram suscetibilidade a fissuras e colapsos parciais sob cargas laterais, enquanto estruturas de concreto armado (HW-E) demonstram maior capacidade de resistir a pressões externas sem colapso global, a menos que ocorra falha geotécnica. Em contraste, Becker (2005) destaca que, para edificações em sistemas leves, como wood frame, o principal modo de falha pode não ser o colapso por pressão lateral, mas

sim a flutuação da estrutura devido ao empuxo hidrostático caso a ancoragem na fundação seja insuficiente, ou a perda de integridade das conexões devido à saturação dos painéis de contraventamento. Para Kelesoglu et al. (2022), independentemente do sistema construtivo adotado na superestrutura da edificação, a erosão ao redor das fundações é um mecanismo de falha que pode levar ao colapso de qualquer tipologia construtiva, sendo particularmente predominante em edificações com fundações superficiais (sapatas isoladas ou corridas) situados em solos de baixa capacidade de carga.

O processo de diagnóstico dos danos sofridos pelas edificações expostas a inundações deve seguir um roteiro técnico, partindo da anamnese e levantamento de dados históricos até a análise sintomatológica detalhada, conforme preconizado por Bolina, Tutikian e Helene (2019). Schneider e Tutikian (2024) propõem um guia de inspeção específico para cenários pós-inundação que prioriza a segurança do inspetor e a identificação de riscos iminentes (como instabilidade de taludes, colapso de elementos estruturais e riscos elétricos) antes da avaliação detalhada de todos os elementos construtivos. A inspeção deve focar na identificação de marcas de nível d'água para estimar as cargas atuantes e na busca criteriosa por sinais de recalque diferencial, manifestados através de fissuras diagonais em paredes e elementos estruturais, que frequentemente indicam problemas geotécnicos induzidos pela erosão ou saturação do solo (Schneider; Tutikian, 2024; Kelesoglu et al., 2022). Além disso, a avaliação não deve se limitar aos danos estruturais visíveis; a integridade de elementos não estruturais (revestimentos, vedações) e instalações elétricas deve ser verificada, pois representam riscos funcionais e custos significativos de recuperação (Moya Barbera et al., 2024; Paulik et al., 2022). A classificação dos danos em graus padronizados, como a escala proposta por Maiwald et al. (2022) (D1 a D6) e o detalhamento proposto nos formulários de inspeção de Schneider e Tutikian (2024), torna-se uma ferramenta essencial para a tomada de decisão sobre a habitabilidade da edificação (segura, uso restrito ou insegura) e para o planejamento das terapias de recuperação. É importante, paralelamente, dar atenção às normas técnicas pertinentes, como a NBR 16747 (ABNT, 2020) e NBR 5410 (ABNT, 2008); às normas técnicas relacionadas aos sistemas construtivos presentes na edificação (NBR 6118 (2024), a título de exemplo, em edificações cuja estrutura é de concreto armado), e também nos processos de intervenção, quando necessários, a exemplo de NBR 16280 (ABNT, 2024).

Dada a complexidade das interações entre as ações hidrodinâmicas e hidrostáticas e os processos de degradação associados à presença prolongada de umidade nos materiais, este trabalho tem como objetivo apresentar, de forma detalhada, a inspeção técnica e o diagnóstico das condições de segurança de três edificações atingidas pela inundação ocorrida na cidade de Encantado, no Rio Grande do Sul, em maio de 2024. Além disso, busca-se identificar e descrever os danos e as manifestações patológicas observados nessas edificações em decorrência direta do evento de inundação, registrando sua ocorrência nos diferentes subsistemas construtivos.

A investigação procura caracterizar essas manifestações patológicas e correlacioná-las aos mecanismos discutidos no referencial teórico. Com base na premissa de que um diagnóstico adequado deve contemplar as etapas de anamnese, levantamento de subsídios e análise sintomatológica (Bolina; Tutikian; Helene, 2019), a metodologia de inspeção adotada priorizou, na avaliação visual inicial, a identificação de condições que pudessem indicar risco estrutural iminente. Somente após essa triagem de segurança procedeu-se à verificação mais detalhada de demais elementos e sistemas da edificação.

Dessa forma, o estudo pretende sistematizar evidências de campo e oferecer subsídios a partir de casos reais de inspeção pós-inundação, contribuindo para a compreensão das manifestações

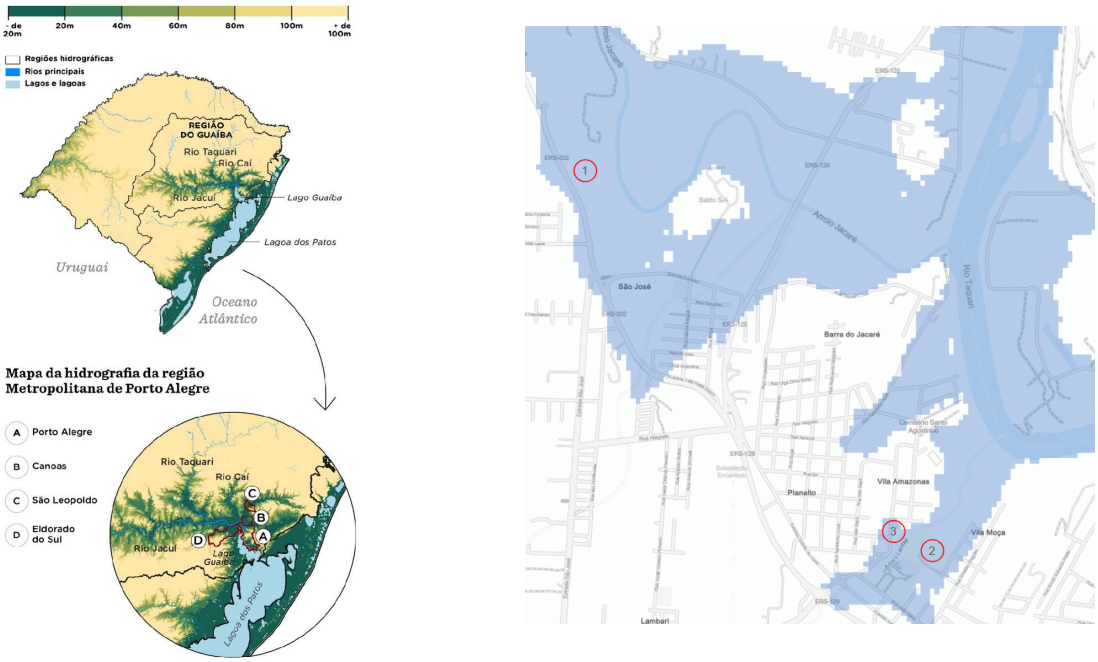
patológicas associadas a esse tipo de evento e para o aprimoramento de práticas de avaliação técnica.

2. ESTUDO DE CASO

2.1 Inundação no Rio Grande do Sul em maio de 2024

Em maio de 2024, precipitações de alto volume atingiram de forma ampla bacias hidrográficas com nascentes em áreas de maior altitude no Rio Grande do Sul. No caso do Vale do Taquari, a resposta hidrológica foi fortemente condicionada pela contribuição gerada nas porções elevadas da bacia Taquari–Antas (especialmente a partir da serra gaúcha), cujo escoamento se propagou rapidamente pelo sistema fluvial em direção ao vale, elevando níveis e vazões ao longo do eixo do rio.

Figura 1 – Contexto do evento climático de maio de 2024



Fonte: Schneider e Tutikian (2024) e ArcGIS (2026).

O Vale do Taquari corresponde a um corredor fluvial atravessado pelo rio Taquari e seus afluentes, conectando trechos de maior declividade a jusante com áreas de planície aluvial onde se concentram ocupações urbanas e infraestrutura. Nesse contexto, o acúmulo desses volumes contribuiu para uma inundação fluvial de grande magnitude no estado e, a jusante, no sistema Jacuí–Guaíba, com reflexos na Região Metropolitana de Porto Alegre e no Lago Guaíba (que, no período, atingiu 5,33 m, acima da cota de inundação de 3,00 m). Nas regiões urbanas do Vale do Taquari os efeitos sobre edificações envolveram predominantemente ações hidrodinâmicas, com ocorrência localizada de ações hidrostáticas e efeitos associados ao escoamento (como impactos por detritos e erosão localizada). Na Figura 1 estão demonstrados o mapa hidrográfico da região Metropolitana de Porto Alegre e a mancha de inundação parcial que atingiu o município de Encantado/RS, situado no Vale do Taquari, onde estão localizados e demarcados os imóveis analisados. No município de Encantado, a cota de inundação é de 12,00 m, enquanto a cota máxima registrada no evento de maio de 2024 atingiu 33,66 m.

2.2 Edificações analisadas

A seguir são descritas as edificações que foram objeto de inspeção no presente estudo.

2.2.1 Edificação 1 - Residência unifamiliar em sistema misto de alvenaria e madeira

A primeira edificação avaliada consiste em uma residência unifamiliar de sistema construtivo misto, composta por dois pavimentos, com idade aproximada de 40 anos. O pavimento térreo é executado em alvenaria estrutural de tijolos cerâmicos maciços, nas paredes externas e internas. O piso possui revestimento cerâmico e o sistema de forro é em madeira. O pavimento superior também é constituído de madeira, assim como as paredes externas e internas e os sistemas de piso e de forro. Conforme informações fornecidas pelos moradores, durante anamnese a edificação foi executada com fundações rasas, do tipo sapata. O imóvel localiza-se a aproximadamente 230 metros do curso hídrico e a cota de inundação foi superior ao nível de cobertura. A cota de soleira da edificação é de aproximadamente 19,00 m. Considerando a cota máxima registrada de 33,66 m, a lâmina d'água estimada em relação à soleira foi de 14,66 m.

2.2.2 Edificação 2 - Escola Municipal de Educação Infantil (EMEI) em alvenaria

A segunda edificação analisada possui idade aproximada de 25 anos e corresponde a uma Escola Municipal de Educação Infantil, executada em alvenaria estrutural, com paredes internas em alvenaria, cobertura composta por laje pré-fabricada e revestimento de piso em cerâmica. A caracterização do sistema de fundações foi fornecida pela prefeitura municipal, sendo a estrutura implantada sobre solo constituído por aterro, com fundações rasas, do tipo sapata. Durante o evento de inundação, o nível da água atingiu cota superior à cobertura da edificação, localizada a aproximadamente 300 metros do curso hídrico mais próximo. A cota de soleira da edificação é de aproximadamente 21,00 m. Considerando a cota máxima registrada de 33,66 m, a lâmina d'água estimada em relação à soleira foi de 12,66 m.

2.2.3 Edificação 3 - Residência multifamiliar em alvenaria

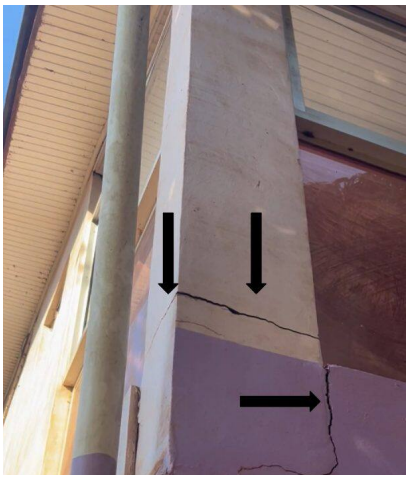
A terceira edificação examinada é uma residência multifamiliar em alvenaria, do tipo sobrado, com idade aproximada de 10 anos e composta por dois pavimentos. O imóvel está situado a aproximadamente 100 metros de distância do curso hídrico e é constituído de alvenaria nas paredes externas e internas, cobertura em laje pré-fabricada e sistema de piso com revestimento cerâmico em ambos os pavimentos. De acordo com relato dos proprietários, a edificação foi executada em fundações profundas, de estacas escavadas moldadas *in loco*. A cota de soleira da edificação é de 18,00 m. Considerando a cota máxima registrada de 33,66 m, a lâmina d'água estimada em relação à soleira foi de 15,66 m.

3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS PREDOMINANTES

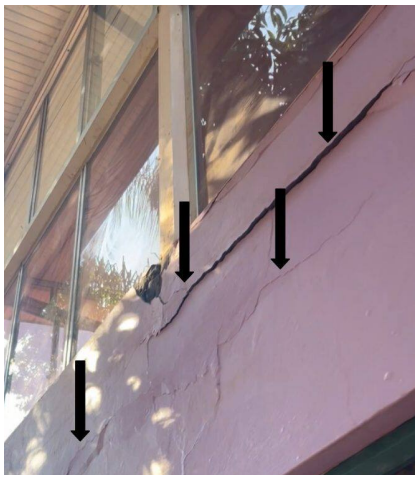
A metodologia adotada para identificar as manifestações patológicas após a inundação baseou-se predominantemente na inspeção técnica *in loco*, na análise visual dos sistemas construtivos e complementada por anamnese, através de informações dos antecedentes das edificações fornecidas pelos responsáveis de cada edificação.

Durante as vistorias, procedeu-se ao reconhecimento das anomalias aparentes, avaliando-se o estado de conservação dos materiais, presença de danos físicos, bem como indícios de perda de desempenho. Complementarmente, foi realizado o registro fotográfico das manifestações patológicas observadas, com o objetivo de documentar os danos e permitir o acompanhamento posterior de sua evolução. A análise das edificações permitiu identificar um conjunto de manifestações patológicas, diretamente associadas à inundação, através de ações hidrostáticas, hidrodinâmicas e de instabilidade geotécnica induzida pela saturação do solo.

Figura 2 – Manifestações patológicas da edificação 1



a. Fissura de tração em pilar



b. Fissura horizontal em alvenaria



c. Fissura por recalque diferencial



d. Deformação em parede de madeira

Fonte: Acervo dos autores (2024).

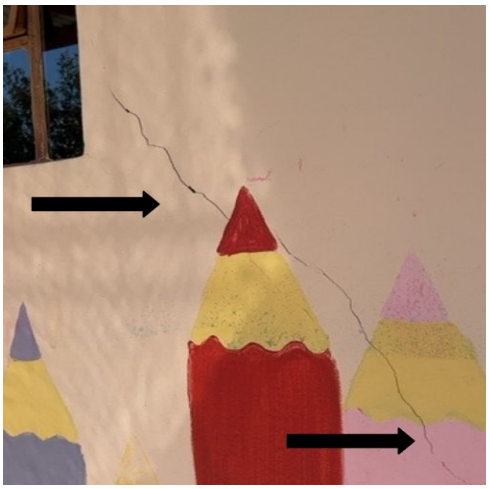
A fissura vertical identificada em pilar (Figura 2a) é compatível com solicitação por tração, induzida por carregamentos na estrutura. Conforme discutido por Schneider e Tutikian (2024), as forças hidrostáticas exercem pressão crescente com a altura da lâmina d'água, enquanto as forças hidrodinâmicas, associadas à velocidade do escoamento, impõe solicitações que podem provocar acréscimo de momentos fletores e esforços cortantes em pilares e paredes.

A atuação combinada dessas ações promove esforços significativos nos elementos verticais, superando a resistência à tração dos materiais e resultando na fissuração observada no pilar. Tal

ocorrência sugere que a referida manifestação patológica ocorreu no momento em que a edificação se encontrava submersa.

Edificações mistas apresentam deformações distintas sob a mesma solicitação, em razão da diferente rigidez entre os materiais constituintes, intensificando deslocamentos, conforme evidenciado na Figura 2b.

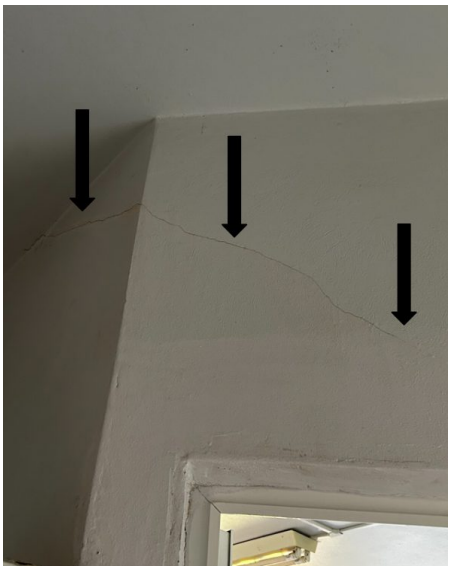
Figura 3 – Manifestações patológicas da edificação 2



a. Fissura diagonal em alvenaria externa



b. Fissura diagonal em alvenaria interna



c. Fissura por sobrecarga na laje

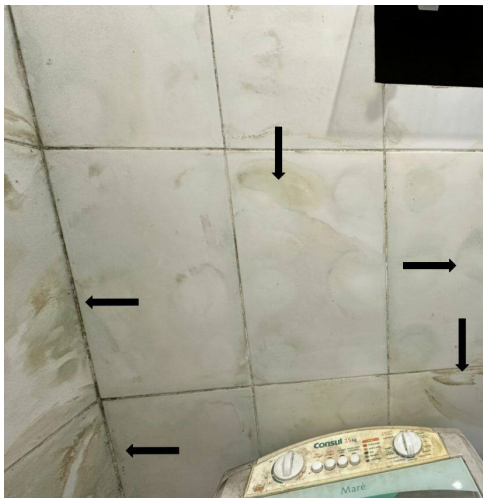


d. Fissura vertical por recalque de fundações

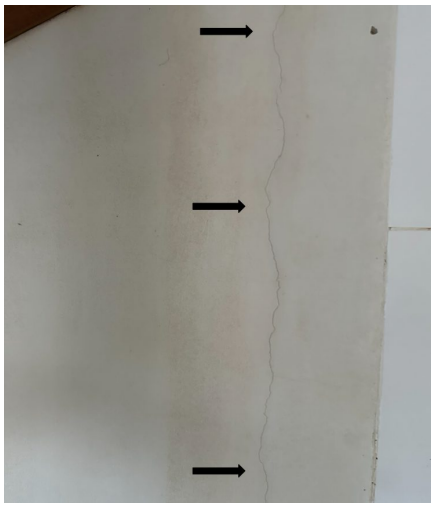
Fonte: Acervo dos autores (2024).

Considerando a fissura por tração no pilar durante o pico de submersão, é plausível que tenha ocorrido redução da rigidez do sistema estrutural. Nessa condição, durante a fase de recuo da inundação, as forças hidrodinâmicas associadas ao escoamento da água podem ter induzido o deslocamento do pavimento superior, em madeira. Tal comportamento é coerente com o apontado por Schneider e Tutikian (2024), que destacam a maior vulnerabilidade de sistemas construtivos leves sob tais solicitações.

Figura 4 – Manifestações patológicas da edificação 3



a. Mudança de tonalidade nas peças cerâmicas



b. Fissura vertical em alvenaria



c. Destacamento da argamassa e pintura



d. Formação de bolor

Fonte: Acervo dos autores (2024).

A Figura 2d demonstra a deformação em parede de madeira devido a ação hidrodinâmica no interior do imóvel. O escoamento da água gera pressão e força de arraste sobre o elemento, induzindo deslocamentos laterais em sistemas construtivos leves, especialmente quando submetidos à saturação e perda de rigidez, conforme observado por Schneider e Tutikian (2024).

A saturação e a redução da tensão efetiva do solo durante a inundação favorecem deslocamentos diferenciais que são transmitidos à superestrutura. Esse processo gera reacomodações no terreno. As Figuras 2c, 3a, 3b e 3d apresentam fissuras por recalque diferencial de fundação, corroborando com as observações de Kelesoglu et al. (2022).

As Figuras 3c e 4b demonstram fissuras por sobrecarga hidrostática e hidrodinâmica nos elementos. Em consoante com Maiwald e Schwarz (2012), pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas durante a inundação elevam a demanda estrutural e induzem deformações localizadas e danos estruturais nas edificações atingidas.

A Figura 4a evidencia a alteração de tonalidade nas peças cerâmicas, devido à absorção e retenção de umidade após a inundação. A Figura 4c apresenta destacamento de argamassa e pintura, associado à perda de aderência decorrente da saturação dos materiais. A exposição prolongada à umidade promoveu variações dimensionais nesses elementos por movimentação higroscópica, reduzindo a aderência entre o revestimento e o substrato. Esse processo favoreceu o destacamento tanto da pintura quanto da argamassa, configurando degradação progressiva induzida pela umidade excessiva. Já a Figura 4d demonstra formação de bolor devido à permanência de umidade residual nos elementos após o recuo da inundação. Associada à ventilação insuficiente, essa umidade criou condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos no período pós-evento.

A literatura técnica aponta que a exposição prolongada à umidade e à saturação compromete o desempenho físico e a durabilidade dos sistemas de revestimento, favorecendo degradação superficial e colonização biológica, de acordo com Bolina, Tutikian e Helene (2019).

Ressalta-se ainda que todas as edificações vistoriadas apresentaram danos nos sistemas elétricos e hidrossanitários. Tais danos, embora não evidenciados em registros fotográficos, foram constatados durante as visitas técnicas e devem ser considerados relevantes para a segurança, salubridade e funcionalidade das edificações.

Tabela 1 – Síntese das manifestações patológicas e danos observados nas edificações

Tipo de dano	Edificação 1	Edificação 2	Edificação 3
Ações hidrostáticas			
Sobrecarga em paredes e lajes por pressão hidrostática	-	-	Sim
Ações hidrodinâmicas			
Deslocamentos/deformações em elementos de vedação	Sim	Sim	Sim
Impacto de detritos causando danos em fachadas	-	-	-
Danos em portas/janelas por empuxo lateral da água	-	-	-
Efeitos geotécnicos			
Recalque diferencial por perda de resistência do solo	Sim	Sim	-
Erosão ao redor das fundações	-	-	-
Instabilidade global do terreno (deslizamento)	-	-	-
Saturação dos materiais e efeitos higroscópicos			
Fissuração associada a variações higroscópicas	-	-	-
Perda de aderência de revestimentos	-	-	Sim
Alteração de aspecto/tonalidade de revestimentos	-	-	Sim
Umidade persistente e biodeterioração	-	-	Sim
Deformação dimensional de madeira por variação de umidade	Sim	-	-
Risco de corrosão de armaduras (longo prazo)	-	-	-
Danos nos sistemas prediais			
Danos em instalações elétricas	Sim	Sim	Sim
Danos em instalações hidrossanitárias	Sim	Sim	Sim

Fonte: os autores (2026).

De forma complementar, foram levantados os custos estimados de reparação das edificações vistoriadas. Os valores foram de aproximadamente R$ 60.000,00 para a Edificação 1, R$ 100.000,00 para a Edificação 2 e R$ 25.000,00 para a Edificação 3.

4. CONCLUSÕES

Este estudo avaliou três diferentes edificações atingidas por evento de inundação, permitindo identificar e correlacionar manifestações patológicas associadas às ações hidráulicas incidentes.

No que se refere aos aspectos estruturais, observou-se a ocorrência de fissuras compatíveis com a atuação de sobrecargas hidrostáticas e hidrodinâmicas. O recalque diferencial de fundações foi identificado em dois dos três imóveis vistoriados, evidenciando a influência da saturação do solo na estabilidade das edificações.

Verificou-se ainda que sistemas construtivos leves apresentaram maior suscetibilidade a deslocamentos induzidos por forças de arraste, enquanto elementos de revestimento e vedação demonstraram sensibilidade significativa à exposição prolongada à umidade.

A umidade mostrou-se uma manifestação persistente em edificações atingidas por inundações, configurando fator de degradação progressiva, capaz de comprometer o desempenho e a durabilidade dos sistemas construtivos ao longo do tempo.

Os resultados reforçam a importância da consideração de ações hidráulicas excepcionais no projeto e na execução de edificações situadas em áreas suscetíveis a inundações. Nesse contexto, destacam-se como estratégias relevantes: a elevação da cota de implantação da edificação, o dimensionamento estrutural considerando pressões hidrostáticas e esforços hidrodinâmicos, o adequado detalhamento de sistemas de drenagem e impermeabilização, a especificação de materiais com menor absorção e maior resistência à umidade, bem como a adoção de soluções construtivas que minimizem os efeitos da saturação do solo sobre as fundações.

REFERÊNCIAS

ARCGIS Online, **Map Viewer**. Disponível em: https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=4c2e6eac971c4b8fbdde4a3c778c5170. Acesso em: 2 de fevereiro 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16280: **Reforma em edificações - Sistema de gestão de reformas - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16747: **Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2008.

ALFIAN, D.; ACHMAD, A.; MEILIANDA, E.; SYUKRI, M. **Integrating flood depth, duration, and structural damage in vulnerability surface modelling using empirical regression**. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6493405/v1

BALASBANEH, A. T.; ABIDIN, A. R. Z.; RAMLI, M. Z.; KHALEGHI, S. J.; MARSONO, A. K. **Vulnerability assessment of building material against river flood water: case study in Malaysia**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 476, 012004, 2020.

BECKER, A. **Wood frame building response to rapid onset flooding**. 2005. Tese (Mestrado) – University of British Columbia, 2005.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

EZEOKOLI, F. O.; OKOYE, P. U.; UGOCHUKWU, S. C. **The Upshot of the 2012 Flooding on Structural Components and Fabrics of Buildings at Ogbaru, Anambra State Nigeria**. American Journal of Civil Engineering and Architecture, v. 3, n. 4, p. 129-136, 2015.

HAQUE, S.; IKEUCHI, K.; SHRESTHA, B. B.; KAWASAKI, A.; MINAMIDE, M. **Relationship between residential house damage and flood characteristics - A case study in the Teesta River Basin, Bangladesh**. International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 96, 103901, 2023.

KELESOGLU, M. K.; TEMUR, R.; GÜLBAZ, S.; APAYDIN, N. M.; KAZEZYLMAZ-ALHAN, C. M.; BOZBEY, I. **Site Assessment and Evaluation of the Structural Damages After the Flood Disaster in the Western Black Sea Basin**. Natural Hazards, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1439957/v1.

KELMAN, I.; SPENCE, R. **An overview of flood actions on buildings**. Engineering Geology, v. 73, p. 297–309, 2004.

MAIWALD, H.; SCHWARZ, J. **Damage and loss prediction model considering inundation level, flow velocity and vulnerability of building types**. WIT Transactions on Ecology and The Environment, v. 159, 2012.

MAIWALD, H.; SCHWARZ, J.; ABRAHAMCZYK, L.; KAUFMANN, C. **Das Hochwasser 2021: Ingenieuranalyse der Bauwerksschäden**. Bautechnik, v. 99, 2022.

MOYA BARBERA, R.; SERRANO LANZAROTE, B.; ESCRIG, T.; CABRERA-FAUSTO, I. **Characterization of damages in buildings after floods in Vega Baja County (Spain) in 2019 - The case study of Almoradí municipality**. Case Studies in Construction Materials, v. 20, e03004, 2024.

OETJEN, J.; BESSETTE, L. S. **Evaluation of building damage during the July 2021 flash-flood in the Ahr Valley (Germany)**. EGU Sphere, 2023.

PAULIK, R.; WILD, A.; ZORN, C.; WOTHERSPOON, L. **Residential building flood damage: Insights on processes and implications for risk assessments. Journal of Flood Risk Management**, v. 15, n. 4, 2022.

SCAWTHORN, C.; FLORES, P.; BLAIS, N.; SELIGSON, H.; TATE, E.; CHANG, S.; MIFFLIN, E.; THOMAS, W.; MURPHY, J.; JONES, C.; LAWRENCE, M. HAZUS-MH **Flood Loss Estimation Methodology**. II. Damage and Loss Assessment. Natural Hazards Review, v. 7, n. 2, p. 72-81, 2006.

SCHNEIDER, Felipe; TUTIKIAN, Bernardo. **Guia para inspeção de edificações após inundações**. São Leopoldo: Unisinos, 2024. ISBN 978-65-01-17688-8.

CAPÍTULO 81 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/dq2s4h41
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/p6mfg340

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA FIXAÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO ARMADO COM INSERTOS METÁLICOS SOB AÇÃO DE COMPRESSÃO

Luciani Somensi Lorenzi[1]*, Alexandre Lorenzi[1]; Dario Lauro Klein[1]
*Autor de contato: luciani.lorenzi@ufrgs.br

1 Instituto de Desempenho da UFRGS, Laboratório de Ensaios e Modelos Experimentais (LEME), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados de ensaios de compressão excêntrica (e = 10 mm) em corpos de prova representativos da ligação painel-laje de um sistema de vedação vertical externa composto por painéis pré-fabricados de concreto armado com insertos metálicos soldados. Três corpos de prova (500 × 1000 × 100 mm) foram ensaiados em pórtico de carga com aplicação incremental de força (≈ 50 kN por etapa) até a perda de capacidade resistente. O Estado Limite de Serviço foi definido pela primeira fissura visível, que ocorreu entre 208 kN e 274 kN. O Estado Limite Último ocorreu entre 222 kN e 283 kN, com colapso associado à ruptura da solda na ligação entre o painel e o inserto metálico. Considerando-se, de forma conservadora, a transferência do peso próprio exclusivamente pelos insertos inferiores, as resistências medidas mostraram-se significativamente superiores às ações permanentes estimadas por inserto, indicando ampla margem de segurança frente à solicitação gravitacional. Os resultados destacam o papel do detalhamento e da execução da solda como aspectos determinantes do desempenho da conexão e fornecem subsídios experimentais para verificações de projeto e estratégias de inspeção de SVVE em painéis de concreto.
Palavras-chave: sistema de vedação vertical externa; conexão painel-laje; inserto metálico; compressão excêntrica; painel pré-fabricado.

ABSTRACT

This paper presents results of eccentric compression tests (e = 10 mm) on specimens representative of the panel-to-slab connection of an external vertical enclosure system composed of precast reinforced concrete panels with welded metallic inserts. Three specimens (500 × 1000 × 100 mm) were tested in a loading frame under stepwise compressive loading (≈ 50 kN per step) until loss of load-carrying capacity. The Serviceability Limit State was defined as the first visible crack, which occurred between 208 kN and 274 kN. The Ultimate Limit State occurred between 222 kN and 283 kN, with failure governed by weld rupture at the panel-to-insert connection. Under a conservative assumption of self-weight transfer through the lower inserts only, the measured capacities were significantly higher than the estimated permanent actions per insert, indicating a substantial safety margin against gravitational demand. The results highlight weld detailing and execution as key factors controlling connection performance and provide experimental evidence to support design checks and inspection strategies for precast concrete cladding systems.
Keywords: external vertical enclosure system; panel-to-slab connection; metallic insert; eccentric compression; precast panel.

1. INTRODUÇÃO

A industrialização da construção civil tem ampliado o uso de sistemas de vedação vertical externa (SVVE) com painéis pré-fabricados de concreto armado, sobretudo em fachadas, devido à rapidez de execução, à padronização e ao maior controle de qualidade. Contudo, a adoção desses sistemas desloca a criticidade do desempenho para as interfaces, em especial para a ligação painel-estrutura, onde se concentram os esforços e as deformações decorrentes do comportamento global do edifício.

A concepção de edificações como produtos aptos a atender integralmente aos requisitos funcionais constitui um princípio fundamental na engenharia civil contemporânea. Em resposta às crescentes exigências de qualidade, produtividade e desempenho, observa-se a adoção progressiva de sistemas industrializados na construção civil, como os painéis pré-fabricados de concreto armado empregados em fachadas.

De acordo com McMullin e Ortiz (2011), ao longo dos últimos 15 anos, os sistemas de revestimento têm mudado continuamente, à medida que novos materiais e processos de fabricação têm gerado avanços tecnológicos.

A busca por sistemas construtivos que atendam integralmente aos requisitos funcionais, estruturais e de desempenho tem impulsionado a industrialização da construção civil, com destaque para o uso de painéis de concreto armado pré-fabricados em sistemas de vedação vertical externa (SVVE). Tais sistemas apresentam vantagens, como rapidez de execução, padronização e controle de qualidade, porém, impõem desafios específicos de desempenho no uso, especialmente nas interfaces entre os painéis e a estrutura principal da edificação. Nesse contexto, os insertos metálicos configuram-se como elementos críticos, pois são responsáveis pela transferência de cargas, pela acomodação de deslocamentos e pela manutenção da integridade da conexão estrutural ao longo da vida útil da edificação.

A interação entre os painéis de fechamento e a estrutura principal é um ponto crucial para avaliar o comportamento global e, sobretudo, a segurança estrutural de edifícios industriais pré-moldados de concreto armado (MENICHINI, DEL MONTE e ORLANDO, 2020). A publicação da norma ABNT NBR 15575, em 2013, marcou uma mudança de paradigma no setor ao adotar uma abordagem baseada no desempenho em serviço, em oposição ao modelo tradicional prescritivo. Essa transição revelou que componentes como os insertos metálicos, muitas vezes negligenciados em avaliações globais de projeto, são determinantes para a segurança estrutural e funcionalidade dos SVVE. Falhas em tais dispositivos — seja por detalhamento inadequado, embutimento insuficiente ou incompatibilidade com o comportamento do painel — podem gerar manifestações patológicas graves, como trincas, deslocamentos excessivos, perda de fixação e até risco de colapso local.

Dada a elevada rigidez dos painéis de concreto maciço, os insertos metálicos tornam-se o elo sensível do sistema, devendo ser capazes de absorver esforços dinâmicos e redistribuir as tensões sem comprometer a integridade das ligações. Observações em campo e em laboratório indicam que os mecanismos de ancoragem metálica nem sempre acompanham a robustez do painel, resultando em falhas localizadas, sobretudo em regiões de concentração de tensões, como bordas, cantos e aberturas.

Nesse cenário, ensaios experimentais em escala real representam uma ferramenta indispensável para avaliar o desempenho dos insertos metálicos sob diferentes condições de carregamento, incluindo impactos, vibrações e cargas pontuais. Este estudo propõe a investigação do comportamento estrutural de painéis de 100 mm de espessura, ancorados por insertos metálicos soldados, com foco na análise de sua capacidade de resistir a solicitações representativas do uso real, como impactos de corpo mole e corpo duro, bem como a cargas geradas por portas e por elementos suspensos.

A crescente utilização de sistemas pré-fabricados na construção civil requer verificações experimentais do desempenho mecânico dos elementos de fixação. Ao priorizar a avaliação dos insertos metálicos como componentes-chave nos SVVE, esta pesquisa contribui para o entendimento das vulnerabilidades estruturais desses sistemas e para a consolidação de diretrizes projetuais que visem à maior segurança, durabilidade e confiabilidade em uso. Busca-se, assim, validar a conformidade do sistema com os critérios normativos de segurança estrutural e fornecer subsídios técnicos para o aprimoramento dos detalhes de fixação.

2. Revisão da Literatura

A norma ABNT NBR 15575 estabelece os critérios de desempenho das edificações brasileiras com foco no comportamento em uso, priorizando aspectos como segurança, durabilidade e integridade sistêmica dos sistemas construtivos. Dentro deste contexto, os sistemas de vedação vertical externa (SVVE) com painéis de concreto pré-fabricados requerem avaliação específica de seus elementos de conexão estrutural, com destaque para os insertos metálicos. Estes componentes representam os pontos críticos de transferência de esforços entre os painéis e a estrutura principal, sendo, portanto, essenciais para garantir a estabilidade e a segurança globais do sistema.

Souza e Mitidieri Filho (2016) ressaltam que a avaliação dos SVVE deve considerar as condições reais de uso, especialmente nas interfaces entre materiais distintos. Os insertos metálicos, soldados ou parafusados a elementos de concreto e de aço, atuam como pontos de concentração de tensões, exigindo um dimensionamento preciso e um detalhamento técnico adequado. Lorenzi (2013) destaca que, mesmo em sistemas com elevado desempenho estrutural, falhas recorrentes têm sido observadas nas regiões de fixação, o que indica a necessidade de reexame do comportamento destes elementos sob diferentes solicitações.

Ensaios de impacto – tanto de corpo mole quanto de corpo duro – simulam ações dinâmicas acidentais que incidem diretamente sobre os painéis e seus pontos de fixação. Bartolomeu (2015) afirma que a capacidade de dissipação de energia nesses sistemas depende não apenas do painel, mas também da deformabilidade controlada dos insertos metálicos, cuja rigidez excessiva pode induzir rupturas frágeis. Em painéis delgados de baixa ductilidade, a rigidez dos insertos pode limitar a absorção de impactos, comprometendo a integridade das ligações.

Santos (2019) explora a relação entre a espessura do painel e a distribuição de tensões ao redor dos insertos metálicos, demonstrando que, em painéis de 100 mm, há risco elevado de falhas por punção ou arrancamento, sobretudo quando os insertos são mal embutidos ou mal ancorados. Silva et al. (2018) reforçam que falhas nas conexões metálicas ocorrem, em muitos casos, por ausência de comprimento de embutimento suficiente, o que impede o travamento mecânico necessário entre o concreto e o inserto. Tais incompatibilidades entre o comportamento estrutural do painel e as propriedades dos insertos resultam em falhas localizadas, com potencial para comprometer o desempenho global da vedação.

Outro aspecto crítico é a transferência de vibrações dinâmicas, como avaliada em ensaios de impacto no fechamento de portas. Santos et al. (2017) identificam que os insertos metálicos localizados próximos às aberturas funcionam como caminhos rígidos de transmissão de energia, agravando a concentração de tensões nos cantos das esquadrias. Na ausência de juntas de alívio ou de interfaces resilientes, a rigidez das conexões metálicas pode amplificar os efeitos dinâmicos, gerando trincas e degradação precoce dos sistemas.

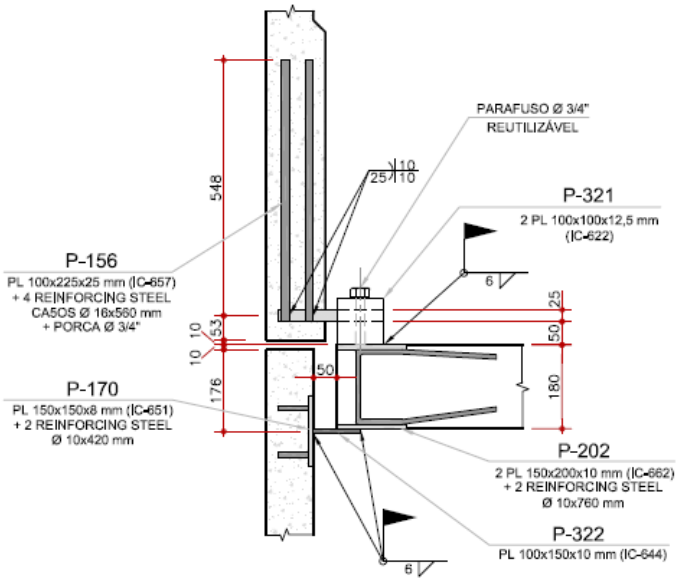
Desta forma, o desempenho dos SVVE depende significativamente da especificação correta, do detalhamento e da execução dos insertos metálicos, que atuam como elementos-chave nas ligações painel–estrutura. Sua falha compromete não apenas a segurança estrutural, mas também aspectos funcionais, estéticos e de durabilidade da edificação. O estudo aprofundado dessas conexões, especialmente sob solicitações dinâmicas, constitui uma etapa essencial para o avanço de soluções industriais mais seguras e eficientes.

3. Descrição do Sistema Construtivo

Os ensaios foram realizados no LEME/UFRGS. Três corpos de prova foram montados, representando o encontro entre painel e laje, com insertos metálicos soldados. Os CPs (500 × 1000 × 100 mm) foram submetidos à compressão excêntrica, com excentricidade de 1 cm em relação ao centroide. A carga foi aplicada em incrementos de aproximadamente 50 kN até o colapso, e as fissuras e rupturas foram registradas a cada etapa.

O Sistema Construtivo analisado é composto por painéis de vedação de concreto armado, com dimensões variáveis (2790 x 1000 x 100) mm, respectivamente, de comprimento, altura e espessura. A Figura 1 apresenta a forma de fixação na parte inferior dos painéis. Os painéis são constituídos por dois tipos de concreto: cinza e branco (arquitetônico), ambos com tensão característica (fck) ≥ 30 MPa.

Figura 1 – Desenho esquemático do Sistema Construtivo, com detalhe da fixação do painel à laje inferior.

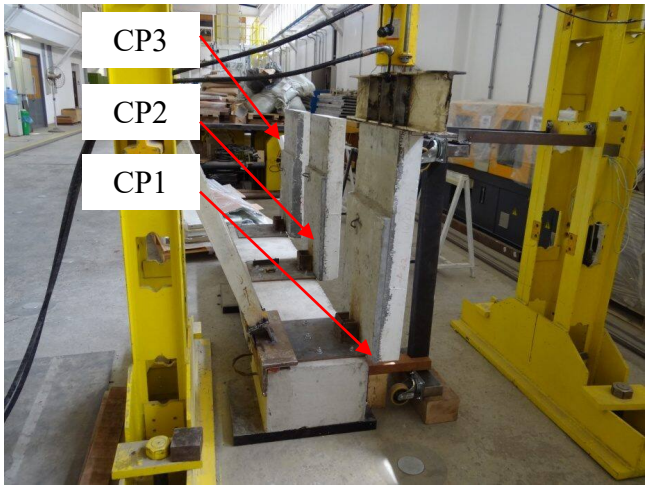


3.1. Descrição dos Corpos de Prova

Foram montados três corpos de prova representativos de como se realiza a fixação dos painéis na laje para o ensaio de compressão excêntrica com inserto metálico, com as seguintes características. O corpo de prova (CP) é composto pelo encontro entre o painel e uma secção de laje, que representam o SVVE em obra.

Os CPs são compostos por painéis de concreto armado (500 x 1000 x 100) mm, com comprimento, altura e espessura, respectivamente, e por inserções metálicas de aço patinado (Figura 2).

Figura 2 – Detalhe dos CP1, CP2 e CP3, com os dois tipos de concreto no painel e na fixação, com solda no inserto metálico.



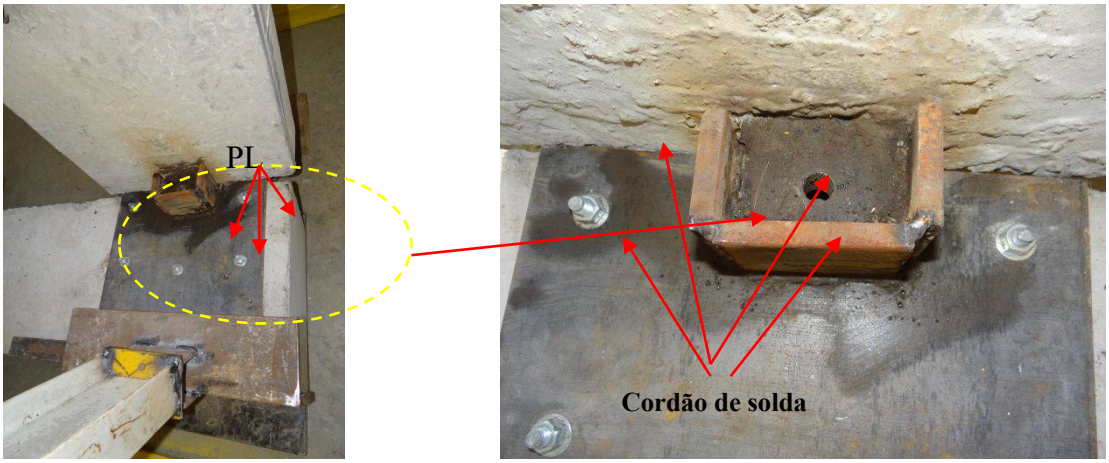
Para a realização dos ensaios de compressão excêntrica com inserto metálico dos três CPs foram consideradas as seguintes premissas:

a) Altura do painel h = 1000 mm
b) Condições de fixação (laje): Viga de concreto armado, representativa da laje; chapa de aço patinado (400 x 400 x 8) mm; e 06 parabolts de aço inox 1/2” x 4”, com diâmetro e comprimento, respectivamente, utilizados para fixar a chapa metálica à viga de concreto armado, conforme a Figura 3(a).
c) Condições de fixação (solda): Solda em cordão para fixar o painel de concreto armado à chapa de aço patinado (Figura 3(b)).

4. ENSAIOS

O procedimento de ensaio adotado para caracterizar o comportamento dos corpos de prova (CPs) sob carregamento compressivo excêntrico consistiu na instalação do painel em pórtico de carga, com ajuste dos apoios para impor uma excentricidade de 1 cm em relação ao centro geométrico do painel. Utilizou-se pórtico com capacidade nominal de 65 toneladas, instrumentado com célula de carga de 50 toneladas, cujas leituras foram registradas por um sistema de aquisição de dados do tipo SYSTEM 8000. O carregamento foi aplicado por incrementos sucessivos de compressão de aproximadamente 50 kN por etapa, mantendo-se o acompanhamento do comportamento do painel a cada incremento, com observação de sinais de degradação e de perda de funcionalidade. O ensaio foi encerrado devido ao colapso do conjunto de fixação, caracterizado pela falha na ligação entre o painel e o inserto metálico.

Figura 3 – Detalhe da fixação do painel à viga de concreto armado.



(a) (b)

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam, respectivamente, os resultados dos ensaios realizados com os corpos de prova CP1, CP2 e CP3. Nessas tabelas são indicadas as cargas aplicadas a cada corpo de prova, bem como os principais eventos observados durante o carregamento, incluindo o surgimento da primeira fissura aparente e o colapso do sistema de fixação, caracterizado pela falha na ligação entre o painel de concreto armado e o inserto metálico.

Tabela 1 – Comportamento do CP1 em relação à carga excêntrica

Carga (kN)	Observações
0	Nenhuma Ocorrência
50	Nenhuma Ocorrência
100	Nenhuma Ocorrência
150	Nenhuma Ocorrência
200	Nenhuma Ocorrência
250	Nenhuma Ocorrência
274	1ª Fissura, conforme Figura 4(a).
283	Colapso da fixação painel e inserto metálico, com ruptura da solda, conforme Figura 4

Fonte: os autores.

No CP1, a primeira fissura foi registrada em 274 kN e o colapso do conjunto ocorreu em 283 kN, com ruptura da solda (Tabela 1 e Figura 4). No CP2, a primeira fissura ocorreu em 243 kN e o colapso em 256 kN, ambos associados à ruptura da solda (Tabela 2 e Figura 5).

Para o CP3, a primeira fissura foi observada em 208 kN e o colapso em 222 kN, com o mesmo modo de falha por ruptura da solda (Tabela 3 e Figura 6). A síntese dos valores de ELS e ELU, bem como a normalização da força pelo comprimento do painel (L = 0,50 m), é apresentada na Tabela 4.

Figura 4 – Ensaio de carga excêntrica CP1: (a) detalhe da 1ª fissura, com carga de 274 kN; e (b) detalhe do colapso da fixação do painel e do inserto metálico, com carga de 283 kN.



(a) (b)

Tabela 2 – Comportamento do CP2 em relação à carga excêntrica

Carga (kN)	Observações
0	Nenhuma Ocorrência
50	Nenhuma Ocorrência
100	Nenhuma Ocorrência
150	Nenhuma Ocorrência
200	Nenhuma Ocorrência
243	1ª Fissura, conforme Figura 4.2(a)
256	Colapso da fixação painel e inserto metálico, com ruptura da solda, conforme Figura 5

Fonte: os autores.

Figura 5 – Ensaio de carga excêntrica CP2: (a) detalhe da 1ª fissura, com carga de 243 kN; e (b) detalhe do colapso da fixação do painel e do inserto metálico, com carga de 256 kN.



(a) (b)

Tabela 3 – Comportamento do CP3 em relação à carga excêntrica

Carga (kN)	Observações
0	Nenhuma Ocorrência
50	Nenhuma Ocorrência
100	Nenhuma Ocorrência
150	Nenhuma Ocorrência
177	Nenhuma Ocorrência
200	Nenhuma Ocorrência.
208	1ª Fissura, conforme Figura 4.3(a).
222	Colapso da fixação do painel e do inserto metálico, com ruptura da solda, conforme a Figura 4.3(b).

Fonte: os autores.

Figura 6 – Ensaio de carga excêntrica CP3: (a) detalhe da 1ª fissura, com carga de 208 kN; e (b) detalhe do colapso da fixação do painel e do inserto metálico, com carga de 222 kN.



(a)



(b)

Tabela 4 – Estado Limite de Serviço (ELS) e Estado Limite Último (ELU) dos CP1, CP2 e CP3 quando submetidos à carga excêntrica (kN) com inserto metálico.

Corpo de Prova	Comprimento painel (m)	Carga (kN)	Carga / metro	Estado Limite
CP1	0,50	274	548	Serviço
		283	566	Último
CP2	0,50	243	486	Serviço
		256	512	Último
CP3	0,50	208	416	Serviço
		222	444	Último

Fonte: os autores.

Considerando-se a definição adotada, o ELS variou de 208 kN a 274 kN, e o ELU, de 222 kN a 283 kN. Em termos de carga linear, os valores variaram entre 416 kN/m e 548 kN/m (ELS) e entre 444 kN/m e 566 kN/m (ELU), conforme a Tabela 4. Observa-se uma variação de aproximadamente 22% nos valores de ELU dos corpos de prova, indicando a sensibilidade do sistema às condições de fabricação e de execução da ligação. Em todos os ensaios, o colapso foi determinado pela ruptura da solda, o que evidencia a soldagem como elemento determinante do desempenho do arranjo ensaiado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sob ação de compressão excêntrica (e = 10 mm) e para o arranjo ensaiado, os resultados indicam que o sistema de fixação por inserto metálico soldado apresenta elevada capacidade resistente, com colapso governado pela ruptura da solda. Recomenda-se que os limites experimentais sejam utilizados como referência para verificações de projeto em condições compatíveis de geometria e de execução, bem como para a definição de critérios de inspeção voltados à integridade da ligação e à qualidade da soldagem.

Os painéis de concreto armado empregados em uma edificação em Porto Alegre/RS apresentam pesos próprios distintos. Entre as tipologias consideradas, o painel de maior massa possui 4,5 t e é utilizado apenas no pavimento térreo, com sistema de fixação composto por três insertos metálicos inferiores e quatro superiores. O painel de maior massa, utilizado em todos os pavimentos, possui 3,25 t, fixado por dois insertos metálicos inferiores e dois superiores.

Para a avaliação da segurança da fixação, adotou-se uma hipótese conservadora, correspondente à condição mais desfavorável: transferência do peso próprio exclusivamente pelos insertos inferiores. Nessa condição, para o painel de 4,5 t, a solicitação por inserto inferior resulta da divisão do peso próprio por três, obtendo-se aproximadamente 1,5 t (≈ 15 kN) por inserto. Para o painel de 3,25 t, a solicitação por inserto inferior resulta da divisão por dois, correspondendo a cerca de 1,625 t (≈ 16,25 kN) por inserto.

A comparação entre essas solicitações e os resultados experimentais indica que os menores valores de resistência foram observados no CP3, com carga de serviço de 208 kN e carga última de 222 kN (L = 0,50 m). Assim, mesmo para a hipótese conservadora adotada, as resistências medidas foram, em ordem de grandeza, superiores a mais de 12 vezes às ações permanentes estimadas por inserto (≈ 15 kN a 16,25 kN). Conclui-se, portanto, que o sistema de fixação avaliado, para SVVE sem função estrutural, dispõe de margem de segurança substancial frente às solicitações gravitacionais dos painéis analisados, sendo a qualidade e o detalhamento da solda aspectos críticos para o desempenho.

Entre as limitações, destacam-se o número reduzido de corpos de prova e a avaliação em uma única condição de excentricidade e de solicitação predominantemente compressiva. Recomenda-se ampliar o programa experimental para outras geometrias, diferentes procedimentos de soldagem e solicitações fora do plano e dinâmicas, de modo a consolidar faixas de desempenho e critérios de aceitação para projeto e manutenção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575-4: Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 4: Sistemas de Vedações verticais internas e externas – SVVIE. São Paulo, 2013.

BARTOLOMEU, A. C. Avaliação do desempenho de sistemas de vedação vertical: impactos de corpos moles e de corpos duros. 2015. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, SP, Brazil.

LORENZI, L. S. Análise crítica do desempenho estrutural de edificações sob a ótica da NBR 15575. 2013. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil, 2013.

MCMULLIN, K. M.; ORTIZ, M. Experimental testing of precast concrete cladding for building facade systems. (2011) Disponível em: https://www.pci.org/PCI_Docs/Papers/2011/Experimental-Testing-of-Precast-Concrete-Cladding-for-Building-Façade-Systems.pdf. Acesso em: 19 fev. 2026.

MENICHINI, G., DEL MONTE, E., & ORLANDO, M. Out-of-plane capacity of cladding panel-to-structure connections in one-story R/C precast structures. Bulletin of Earthquake Engineering, 2020. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-020-00962-5. Acesso em: 19 fev. 2026.

SANTOS, R. M. et al. Interação entre componentes de vedação e esquadrias sob ações dinâmicas. Revista Ambiente Construído, 2017.

SANTOS, R. G. Resistência de vedações verticais a cargas de peças suspensas: influência do tipo de substrato. 2019. Dissertação de Mestrado – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, RS, Brasil, 2019.

SILVA, G. A. et al. Comportamento de fixações mecânicas em painéis de concreto de baixa espessura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2018. Anais do ENTAC. Bento Gonçalves: Instituto Brasileiro do Concreto, 2018.

SOUZA, M. F., MITIDIERI FILHO, C. V. Análise do desempenho estrutural de sistemas de vedações verticais. Revista Ambiente Construído, v. 16, n. 3., 2016.

CAPÍTULO 82 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/yse9f790
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/qwdajv12

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ASSOCIADAS A UMIDADE EM RESIDÊNCIAS DE LIGHT STEEL FRAME – LSF.

Mathias Herzer[1], Gustavo Alexandre Ferraz de Carvalho e Souza*[2]; Eduardo Polesello[3]
*Autor de contato: gustavodecarvalhoesouza@gmail.com (marcado com um asterisco entre os autores)

[1] Curso de Engenharia Civil, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil
[2] Curso de Engenharia Civil, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil
[3] Curso de Engenharia Civil, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil

RESUMO

O conhecimento do método construtivo *Light Steel Frame* (LSF) é necessário para que o projeto seja desenvolvido de forma apropriada, as técnicas construtivas sejam aplicadas corretamente e, assim, sejam evitadas ou minimizadas as incidências de manifestações patológicas pela presença de umidade indesejada. Neste sentido, este estudo investiga causas de manifestações patológicas oriundas da presença da umidade em residências com sistema construtivo em *Light Steel Frame*, avaliando a qualidade do processo executivo realizado. Para tal, realizou-se a inspeção de edificações executadas, registrando as manifestações patológicas identificadas. Os resultados demonstram que as manifestações patológicas identificadas associadas a presença da umidade, são, primordialmente, por falha na execução da edificação, seguidos da qualidade dos materiais utilizados.
Palavras-chave: Light Steel Frame; Manifestações Patológicas; Umidade.

ANALYSIS OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS ASSOCIATED WITH HUMIDITY IN LIGHT STEEL FRAME RESIDENCES – LSF.

ABSTRACT

Knowledge of the *Light Steel Frame* (LSF) construction method is necessary so that the project can be developed appropriately, construction techniques can be applied correctly and, thus, the incidence of pathological manifestations due to the presence of unwanted humidity can be avoided or minimized. In this sense, this study investigates causes of pathological manifestations arising from the presence of humidity in homes with a *Light Steel Frame* construction system, evaluating the quality of the executive process carried out. To this end, an inspection of constructed buildings was carried out, recording the pathological manifestations identified. The results demonstrate that the pathological manifestations identified associated with the presence of humidity are, primarily, due to failure in the execution of the building, followed by the quality of the materials used.
Keywords: Light Steel Frame; Pathology; Moisture.

1. INTRODUÇÃO

O sistema construtivo em *Light Steel Frame* (LSF) no Brasil, segue as prescrições da NBR 16790 (ABNT, 2022), que se destina ao uso em edificações residenciais (unifamiliares ou multifamiliares) e não residenciais de até dois pavimentos. Segundo Campos (2020), pelo *Light Steel Frame* ser um sistema industrializado, possibilita uma construção a seco com grande rapidez de execução, que, devido a essas características, também é conhecido por Sistema Autoportante de Construção a Seco, sendo composto por vários subsistemas, como fundações, isolamento, fechamento interno e externo, além das instalações elétricas e hidráulicas.

Conforme Marinho e Mesquita (2022), as estruturas de forma geral, seja metálica ou outros materiais, possuem em comum o fato de resistirem aos esforços mecânicos. Contudo, é necessário conhecimento e correta adequação no desenvolvimento de projetos, em destaque ao uso dos perfis metálicos como caracteriza-se o sistema LSF, demandando que, ainda, seja melhor difundido no segmento técnico para evitar ou minimizar a incidência de manifestações patológicas nas edificações, em particular, pela presença de umidade associada ou alguma deficiência do sistema de impermeabilização. Elevados gradientes de temperatura, muitas vezes no mesmo dia, grandes volumes de chuvas e poluições contribuem para o surgimento de manifestações patológicas, associadas a uma ou mais formas de deterioração (Sacchi e Souza, 2017).

A ciência da patologia das construções pode ser conceituada como parte da engenharia que estuda os sintomas, causas e origens dos vícios construtivos que ocorrem na construção de edificações. É importante destacar que a presença de manifestações patológicas está cada vez mais precocemente identificada nas edificações, reduzindo a necessidade de estudos sobre a gestão dos processos construtivos e das falhas cometidas em suas etapas (Marinho e Mesquita, 2022) e (Sena, Nascimento e Neto, 2020). A presença de umidade, para Rodriguez e Ribas (2023), pode ser responsável pela maioria das manifestações patológicas em edificações, originada, muitas vezes, pelas falhas construtivas das edificações, caracterizando-se como o agente mais recorrente.

Segundo Lira e Lordsleem (2019), a presença de umidade está atrelada ao surgimento de diferentes manifestações patológicas nas edificações, manifestada como o aparecimento de manchas de umidade, mofo e bolor, além de propiciar as condições para deterioração da edificação. Para identificar a causa das manifestações devido a umidade, é necessário entender o comportamento do fluxo, ou seja, o caminho que a água (umidade) está percorrendo, que, nos estudos de Ferreira e Rodrigues (2019), mostram como incidências mais recorrentes a umidade por capilaridade ou percolação. Outros aspectos associados às anomalias em *Light Steel Frame* podem estar relacionados com falhas de projetos, existência de fissuras nas juntas de dilatação que une os painéis de vedação, erros na fabricação e montagem das estruturas causados por negligência ou inexistência de controle de qualidade ou, então, falta de manutenção (Farias e Marinho, 2019).

A melhoria desses processos envolve, além da quantificação, o conhecimento das causas e origens das manifestações patológicas, seus custos e suas tendências em novos empreendimentos. Para isso, a NBR 16747 (ABNT, 2020) traz a atividade de inspeção sendo constituída por uma sequência de procedimentos técnicos, e tem como uma das ferramentas principais a vistoria in loco, considerando como base a observação visual e constatação técnica, seguido de levantamento e análise de documentação, para identificação das características construtivas, classificação das irregularidades constatadas, recomendações de ações necessárias para restaurar ou preservar o

desempenho dos sistemas, organização das prioridades em patamares de urgência, avaliação da manutenção e avaliação do uso.

Contudo, o LSF por ser um método construtivo relativamente novo e por, ainda, estar se disseminando na indústria da construção civil brasileira, apesar de já estar consolidado em muitos outros países, demanda maior atenção ao domínio das técnicas do sistema, justificando pesquisas sobre o tema.

Neste contexto, este estudo objetiva avaliar as principais causas das manifestações patológicas, oriundas pela presença de umidade indesejada, em edificações executadas com sistema LSF, analisando os materiais presentes na estrutura, diagnosticando as causas e sugerindo formas de reparo para conservação e minimização no surgimento de novas manifestações patológicas, visando o aumento de vida útil da edificação. O levantamento das manifestações patológicas foi realizado em edificações de residências unifamiliares através da aplicação de inspeção predial, seguindo o que preconiza a NBR 16747 (ABNT,2020).

2. METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida trata-se de estudo de caso, pois buscou analisar as manifestações patológicas que ocorrem em residências já executadas com o sistema *Light Steel Frame* – LSF. As etapas do método em que esse estudo foi dividido estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Etapas detalhadas para a metodologia proposta



Fonte: Elaborada pelos autores.

2.1 Objeto de Estudo

O objeto de estudo é caracterizado por quatro edificações unifamiliares executadas no sistema *Light Steel Frame* – LSF e localizadas na região dos Vales do Sinos, estado do Rio Grande do Sul, Brasil, construídas entre 2019 e 2022, estando todas, atualmente, em ocupação. As informações de cada objeto de estudo seguem detalhadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Informações dos objetos de estudo analisados

Objeto de Estudo	Edificação 01	Edificação 02	Edificação 03	Edificação 04
Área (m²)	147,0	300,0	103,0	147,0
Detalhamento dos cômodos	3 Dormitórios 3 Banheiros 1 Cozinha 1 Sala de Estar 1 Área Serviço 1 Circulação 1 Escrtiorio	3 Dormitórios 2 Banheiros 1 Cozinha 1 Sala de Estar 1 Área Serviço 1 Circulação 1 Garagem	2 Dormitórios 1 Banheiros 1 Cozinha 1 Sala de Estar 1 Área Serviço 1 Circulação 1 Mezanino	3 Dormitórios 3 Banheiros 1 Cozinha 1 Sala de Estar 1 Área Serviço 2 Circulação 1 Escrtiorio

Ano de Finalização da Edificação	2022	2021	2020	2019

Fonte: Elaborada pelos autores.

2.2 Inspeção do local

A inspeção local serviu para agrupar informações dos projetos realizados para as residências, buscando o levantamento de dados para os corretos diagnósticos das manifestações patológicas e informações sobre os ambientes inspecionados, através da captação de imagens, conforme sugere a NBR 13752 (ABNT, 1996), para gerar o maior número de dados relevantes para as corretas inspeções das residências, de forma a atender a NBR 16747 (ABNT, 2020).

Esta etapa contempla como ações distintas, o registro fotográfico, a localização da manifestação patológica identificada, além da identificação da origem e do grau risco para a edificação.

2.2.1 Registro Fotográfico

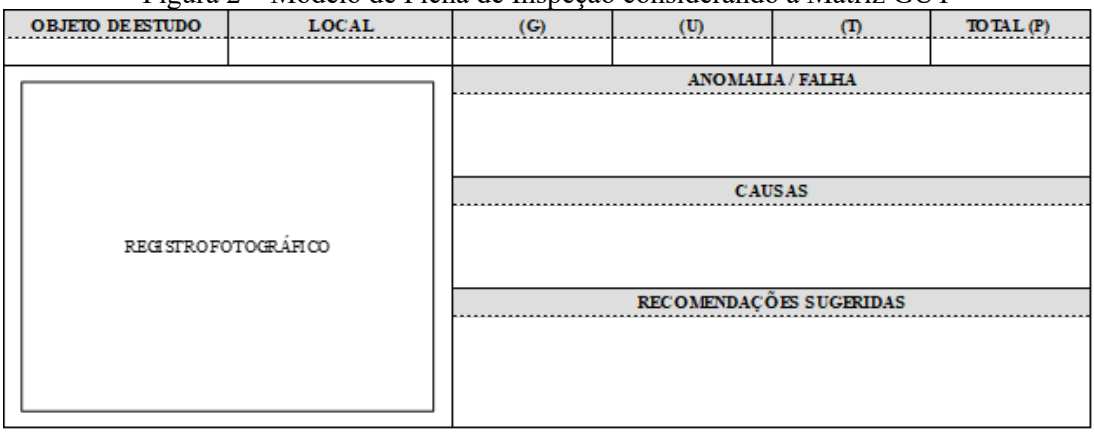
Para a realização da inspeção predial requerida pela NBR 16747 (ABNT, 2020), foi necessário equipamentos auxiliares de pouca complexidade, a exemplo de câmera fotográfica com boa resolução das imagens, mas que auxiliam na constatação e o registro das manifestações patológicas.

Em todas as edificações visitadas, o registro fotográfico das manifestações patológicas foi realizado com o auxílio de smartfone modelo iPhone 13 da marca Apple, que apresenta câmera com resolução de 12 Mega pixels.

2.2.2 Localização da Manifestação Patológica

Segundo a NBR 13752 (ABNT, 1996), que estabelece critérios para perícias de engenharia na construção civil, a qualidade do trabalho deve estar assegurada pela execução de um croqui de situação. Para isto, considerando o projeto arquitetônico de cada edificação, fornecido para consulta pelo proprietário, foi localizado o ambiente indicando o elemento analisado e o posicionamento do ponto em que a manifestação patológica foi identificada. Como registro documental, foi incluída essa informação na Ficha de Inspeção detalhada na sequência (Figura 2) desta metodologia.

Figura 2 – Modelo de Ficha de Inspeção considerando a Matriz GUT



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2.3 Identificação e risco da manifestação patológica associada por umidade

Como ferramenta para auxiliar nesta identificação das manifestações, considerou-se as definições da Matriz GUT – (Gravidade, Urgência e Tendência). A matriz GUT foi criada por Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe, na década de 80 do século XX, e tinha como propósito ajudar na resolução de problemas complexos das indústrias. A matriz é montada considerando três etapas, detalhadas na sequência.

Como primeira etapa, é necessário listar todos os problemas relativos ao que será realizado no seu ambiente de pesquisa, avaliando-os seguindo os três aspectos principais que definem a Matriz GUT, conforme está detalhado no Quadro 2.

Quadro 2 – Definições da Matriz GUT

Aspectos	Definição
Gravidade	Representa o impacto do problema avaliado caso o mesmo venha a acontecer. Considera alguns aspectos, como: tarefas, pessoas, resultados, processos, organizações etc, analisa-se sempre seus efeitos a médio e longo prazo, caso o problema em questão não seja resolvido.
Urgência	Representa o prazo, o tempo disponível ou necessário para resolver um determinado problema analisado. Quanto maior a urgência, menor será o tempo disponível para solucionar esse problema. É recomendado que seja feita a seguinte pergunta: “A resolução deste problema pode esperar ou deve ser realizada imediatamente?”.
Tendência	Representa o potencial de crescimento do problema, a probabilidade do problema se tornar maior com o passar do tempo. É a avaliação da tendência de crescimento, redução ou desaparecimento do problema. Recomenda-se fazer a seguinte pergunta: “Se eu não resolver esse problema agora, o mesmo vai piorar pouco a pouco ou vai piorar bruscamente?”.

Fonte: Adaptado de Periard (2011)

A próxima etapa caracteriza-se pela atribuição de uma pontuação estabelecida seguindo escala em ordem crescente de 1 a 5, para cada problema registrado. A atribuição da nota, a fim de diminuir a subjetividade no momento desta definição, deve considerar os critérios detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 - Critérios relevantes para atribuir a pontuação

Grau de Prioridade	Gravidade	Urgência	Tendência (“se nada for feito...”)
1°	extremamente grave	precisa de ação imediata	irá piorar rapidamente
2°	muito grave	é urgente	irá piorar em pouco tempo
3°	grave	o mais rápido possível	irá piorar
4°	pouco grave	pouco urgente	irá piorar a longo prazo
5°	Sem gravidade	Pode esperar	não irá mudar

Fonte: Elaborado pelos autores.

Por fim, após concluída a listagem e definição dos problemas e atribuída a pontuação, a terceira etapa caracteriza-se por estabelecer a pontuação final para problema, obtida pela multiplicação das pontuações atribuídas para cada aspecto: Gravidade, Urgência e Tendência. Com base nos resultados obtidos é norteada a ordem de prioridade das ações a serem tomadas, uma vez que, os mais graves, urgentes e com maior tendência de agravamento, terão prioridade. Um exemplo de construção e uso da Matriz GUT é demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Exemplificação do uso da Matriz GUT

Problema	Gravidade	Urgência	Tendência	Total (GUT)	Grau de Prioridade

Condição A	5	3	1	15	3°
Condição B	5	5	2	50	1°
Condição C	4	3	2	24	2°

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após atribuição da nota o estado de prioridade do problema analisado será determinado. O produto dessa multiplicação pode resultar em pontuação máxima de 125 pontos, ou seja, o agente de prioridade deste problema.

Essa ferramenta não se limita a nenhum tipo de processo, podendo ser aplicada para diferentes finalidades áreas, com vantagens de ser de fácil utilização e manuseio (Periard, 2011). Neste sentido a Figura 2 apresenta a Ficha de Inspeção utilizada nesta pesquisa, considerando, a possiblidade de utilização dessa metodologia da Matriz GUT.

A ficha de inspeção, (Figura 2), registra a anomalia, descrição, diagnósticos, prognósticos e terapias, assim como as pontuações da matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) com o resultado de sua multiplicação (Total) e classificação quanto ao risco, considerando as informações da Tabela 1.

2.3 Classificação das Irregularidades

Utilizando as informações das etapas anteriores, será possível classificar as irregularidades listadas através da NBR 16747 (ABNT,2020), em anomalias (problemas de projeto, execução ou externos) e falhas (decorrentes de uso, operação ou manutenção). Adotando o método GUT, que estabelecerá recomendações de reparo quanto a gravidade, urgência e tendência, considerando, para tal, a organização das prioridades.

2.4 Recomendações Sugeridas

Após todos os procedimentos de análise documental, anamnese da edificação, realização da inspeção in loco e constatação das anomalias e falhas, segundo a NBR 16747 (ABNT, 2020), as irregularidades encontradas devem ser examinadas quanto a criticidade, através da análise do grau de risco, a fim de estabelecer prioridades quanto à terapia.

Com a compilação dos dados levantados, foram definidas as ações corretivas e preventivas. Para tal, com base no diagnóstico das manifestações patológicas, classificações quanto ao grau de risco e considerações da literatura técnica já publicada, foi estabelecida a ordem de prioridade para as intervenções corretivas, conforme sugere a NBR 16747 (ABNT, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De forma a atender os objetivos deste estudo, conforme metodologia apresentada, foi realizada uma análise geral do objeto de estudo, as residências unifamiliares em LSF, identificando as manifestações patológicas, especificamente devido a presença de umidade, sendo, assim como afirma Rodriguez e Ribas (2023), o agente mais recorrente e podendo ser responsável pela maioria das manifestações patológicas encontradas em edificações, como bolhas, manchas, eflorescência, mofos ou bolores, corrosão de armaduras, pinturas danificadas, entre outros.

Os dados da vistoria e a análise realizada, neste estudo, forneceram informações fundamentais para a aplicação do método GUT, atribuindo para cada manifestação patológica identificada uma pontuação que considerou a gravidade do problema, sua urgência e sua tendência.

3.1 Resultados das inspeções em cada objeto de estudo

O resultado das inspeções, realizadas nas edificações contempladas pelo estudo, está registrado nas figuras apresentadas na sequência. A exemplo da Figura 3 que detalha sobre a Edificação 1.

Figura 3 – Resultado da inspeção realizada na Edificação 1

OBJETO DE ESTUDO	LOCAL	(G)	(U)	(T)	TOTAL (P)
Edificação 1	Banheiro	3	3	4	36



ANOMALIA / FALHA

Apresenta aspecto de molhado, macha escura na placa de revestimento, localizada na parede do banheiro da edificação 1.

CAUSAS

Manisfestação patológica associada a umidade por infiltração devido a ação de escoamento da água da chuva vindo do rufo no telhado, caracterizando a má execução após análise do projeto.

RECOMENDAÇÕES SUGERIDAS

Conforme NBR 5674 (ABNT, 2012), recomenda-se verificar sua integridade e reconstruir os rejuntamentos internos e externos dos pisos e parede. Sugere-se: 1) remover cuidadosamente o revestimento e a placa afetada; 2) fazer limpeza da região afetada; 3) aplicar aditivo de proteção; 4) aplicar a argamassa e nova placa de revestimento; 5) aplicar a massa de acabamento de proteção.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se, pela Figura 3, que a manifestação patológica foi localizada no porcelanato utilizado como revestimento da alvenaria interna do banheiro da edificação, em decorrência da presença da umidade nas placas de vedação que são o substrato para aplicação deste revestimento, sendo possível visualizar manchas escuras e aspecto de molhado.

A origem da manifestação está associada a uma infiltração da água decorrente da chuva no telhado, em função de falha no rufo de proteção, evidenciando a necessidade de ações corretivas para melhor vedação e acabamento. Segundo Santiago; Freitas; Crasto (2012), após os fechamentos dos painéis, quaisquer tipos de revestimento podem ser utilizados, no entanto, devem ser tomados alguns cuidados com o propósito de garantir a qualidade e durabilidade do revestimento aplicado. A Figura 4, detalha a inspeção realizada na Edificação 2.

Figura 4 – Resultado da inspeção realizada na Edificação 2

OBJETO DE ESTUDO	LOCAL	(G)	(U)	(T)	TOTAL (P)
Edificação 2	Parede Externa	2	3	3	18



ANOMALIA / FALHA

Apresenta desplascamento do revestimento, manifestação localizada na parede externa da edificação 2.

CAUSAS

Manifestação patológica associada a umidade por interperes, devido ação do clima, pela incidência de vento e chuva, frente ao materiais aplicados, gerando o desplacamento do revestimento externo.

RECOMENDAÇÕES SUGERIDAS

Conforme NBR 5674 (ABNT, 2012), recomenda-se verificar sua integridade e refazer o revestimento. Sugere-se: 1) remover cuidadosamente o revestimento afetado; 2) reconstituir a base afetada; 3) aplicar aditivo de proteção; 4) aplicar a argamassa de revestimento; 5) aplicar aditivo de acabamento.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O desplacamento do revestimento externo, da argamassa cimentícia colante polimérica na placa cimentícia com EIFS (*Exterior Insullation and Finish System*), possibilita a presença de umidade por percolação de água e penetração de sais solúveis, devido às condições do ambiente, o que danifica a edificação. Outro aspecto a ser observado é que a incidência de chuva dirigida também afeta o desempenho higrotérmico de fachadas. Importante fonte de umidade, com efeito nas superfícies que estão na direção do vento (Paixão e Amario, 2022). Na inspeção da Edificação 3, detectou-se mais de uma manifestação patológica em decorrência da umidade, conforme detalham as Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Resultado da inspeção realizada na Edificação 3 parte externa

OBJETO DE ESTUDO	LOCAL	(G)	(U)	(T)	TOTAL (P)
Edificação 3	Parede Superior	4	5	5	100



ANOMALIA / FALHA

Apresenta manchas de mofos ou bolores, aspecto de molhado, localizada na parte superior (teto) na edificação 3.

CAUSAS

Manifestação patológica associada a umidade por infiltração, identificado pela má execução da cobertura.

RECOMENDAÇÕES SUGERIDAS

Conforme NBR 5674 (ABNT, 2012), recomenda-se verificar sua integridade e refazer a região afetada. Sugere-se: 1) verificar cuidadosamente a estrutura do revestimento afetado, 2) reconstituir a região da placa afetada 3) aplicar no material com aditivo de proteção, 4) aplicar revestimento de proteção .

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observando a Figura 5, são perceptíveis manchas de mofos ou bolores com aspecto de molhado na parte superior do forro externo na entrada da residência, em função de má instalação da membrana impermeável. É possível ainda que ocorra a condensação do sistema, devido a infiltração de água e ou ar nos espaços entre as placas de vedação (Nascimento, 2020), dependendo do nível de estanqueidade da execução. Para Rodrigues e Caldas (2016), as coberturas no sistema LSF não se diferenciam muito do sistema convencional, seguem o mesmo princípio dos telhados de madeiras, executados com perfis de aço galvanizado criando treliças ou tesouras, podendo ser inclinadas ou planas, exigindo os mesmos cuidados de execução de coberturas do sistema convencional. Ainda,

em inspeção a essa mesma edificação, pela Figura 6 é possível verificar outro local inspecionado da Edificação 3.

Figura 6 – Resultado da Inspeção realizada na Edificação 3 parte interna

OBJETO DE ESTUDO	LOCAL	(G)	(U)	(T)	TOTAL (P)
Edificação 3	Banheiro	5	5	5	125



ANOMALIA / FALHA

Mostra-se degradação do revestimento, manchas de mofos, bolores e aspecto de molhado, localizada entre o piso e parede do banheiro da edificação 3.

CAUSAS

Manifestação patológica associada a umidade por infiltração, devido a má execução na rede hidraulica, somado a materiais de baixa resistência de proteção.

RECOMENDAÇÕES SUGERIDAS

Conforme NBR 5674 (ABNT, 2012), recomenda-se verificar sua integridade e reconstruir. Sugere-se: 1) remover cuidadosamente o revestimento e a placa cimenticia afetada; 2) realizar a manutenção do sistema hidraúlico apresentado no local; 3) reconstituir a placa cimenticia na região afetada; 4) aplicar aditivo de proteção; 5) aplicar a argamassa e nova placa de revestimento; 6) aplicar a massa de acabamento de proteção.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nesse ambiente (Figura 6), é importante destacar a degradação nos materiais como o gesso e madeira, podem apresentar crescimento de fungos e mofo, quando identificada a presença de teor de água entre camadas assim produzidas (Campos, 2020), evidenciando o cuidado e atenção durante a execução do sistema. O ponto de maior atenção é a manutenção pontual do sistema hidráulico que apresenta problemas e após as reparações de acabamento. Seguido as inspeções nas residências analisadas, registrou-se a presença de umidade, manchas escuras e aspecto de molhado na Edificação 4, conforme registro da Figura 7.

Figura 7 – Resultado da inspeção realizada na Edificação 4

OBJETO DE ESTUDO	LOCAL	(G)	(U)	(T)	TOTAL (P)
Edificação 4	Corredor	4	4	5	80



ANOMALIA / FALHA

Apresenta manchas escuras, bolor e com aspecto de molhado, localizada na parede do corredor da edificação 4.

CAUSAS

Manifestação patológica associada a umidade por infiltração, devido a ação efetiva de escoamento da água entre parte da estrutura exposta e unida a outra parede.

RECOMENDAÇÕES SUGERIDAS

Conforme NBR 5674 (ABNT, 2012), recomenda-se verificar sua integridade e realizar a manutenção necessária. Sugere-se: 1) remover cuidadosamente o revestimento e a placa fibra de cimento afetada; 2) reconstituir a placa cimentícia na região afetada; 3) aplicar aditivo de proteção; 4) aplicar a massa de acabamento de proteção.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dessa forma geral, Marinho e Mesquita (2022) comentam que as estruturas dos perfis utilizados no sistema LSF, ou outros materiais, possuem em comum o fato de resistirem a esforços mecânicos. Contudo, além de resistir a essas solicitações, sofrem também a influência de intemperismo, variações térmicas e higroscópicas, dentre outras, que ao longo do tempo, gera um determinado grau de deterioração, pelo tempo de vida útil do material, ou precocemente devido a fatores patológicos.

Também o sistema pode afetar as condições ambientais e a qualidade do ar interno dos ambientes, levando ao crescimento de micro-organismos (fungos e mofos) prejudiciais à saúde do usuário, bem como afetar a durabilidade e manutenção dos materiais que compõem a envoltória da edificação (Nascimento, 2020). Considerando esses aspectos se faz necessário identificar e categorizar o grau de deterioração das manifestações patológicas.

3.2 Identificação e grau de priorização

Segundo Napoleão (2019), a matriz GUT, neste estudo considerada na ficha de inspeção, é uma a ferramenta que obtém resultados que são listados de itens a priorizar, possibilitando enxergar o que deve ser realizado primeiro, informação que, muitas vezes, é fundamental para a eficiência na resolução de um problema. Esse aspecto contribui para identificar o melhor destino aos recursos disponíveis, evitando maiores danos, além de permitir a análise do grau de risco de cada manifestação patológica, auxiliando no melhor entendimento da ficha de inspeção, de forma a atender a NBR 13752 (ABNT, 1996).

A matriz GUT foi realizada com base nos dados coletados através da inspeção visual, tornando possível uma análise mais assertiva, considerando os critérios já apresentados na Tabela 1. O resultado desta análise está apresentado na Tabela 5, que fornece as informações quanto a maior assertividade na manutenção das manifestações patológicas registradas.

Tabela 5 –Matriz de aplicação método GUT

Objeto de Estudo	Gravidade	Urgência	Tendência	Total (GxUxT)	Grau de Prioridade
Edificação 01	3	3	4	36	4°
Edificação 02	2	3	3	18	5°
Edificação 03/1	4	5	5	100	2°
Edificação 03/2	5	5	5	125	1°

Edificação 04	4	4	5	80	3°

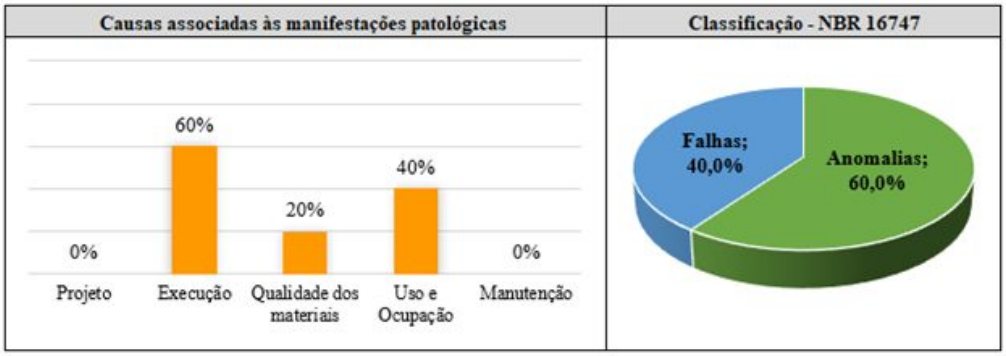
Fonte: Elaborado pelos autores.

Com acesso aos dados da Tabela 5, é possível notar o grau de prioridade quanto a gravidade das manifestações patológicas detectadas nas edificações. Logo, de acordo com o estudo realizado, as manifestações patológicas que merecem maior atenção foram as relacionadas, principalmente às Edificações 3 e 4, que tiveram ordem de prioridade de grau maior. Essas manifestações podem trazer riscos graves a curto prazo, e deste modo devem ser sanadas o mais rápido possível conforme as recomendações sugeridas pela NBR 5674 (ABNT,2012). Quanto as Edificações 1 e 2 por classificarem-se como grau menor, é possível o atendimento em médio prazo verificando sua integridade e reconstrução, para eliminar os pontos de manifestações patológicas.

3.2 Diagnóstico das manifestações identificadas

Avaliou-se como possíveis causas, para as manifestações patológicas identificadas, a inconsistências quanto a execução da edificação em desacordo com o projeto, aplicação dos materiais em relação ao uso da edificação, e qualidade dos materiais empregados na edificação, buscando uma classificação dessas irregularidades conforme prescreve a NBR 16747 (ABNT,2020), em anomalias e falhas. A Figura 8 detalha essa análise.

Figura 8 –Distribuição das irregularidades associadas às manifestações patológicas identificadas



Fonte: Elaborado pelos autores.

A umidade causa manifestações patológicas que acarretam danos tanto estéticos como estruturais, gerando insegurança e desconforto aos usuários da edificação. O levantamento dos problemas apresentados por cada edificação registra manifestações patológicas associadas a umidade classificadas pelas anomalias e falhas.

A Figura 8 detalha a proporção de incidência de cada problema mais recorrente analisado, não sendo identificada nenhuma causa associada ao projeto das edificações incoerências na execução do processo construtivo, por falha no serviço aplicado conforme orientação de projeto, apresentou-se uma incidência de 60% havendo relação a possíveis problemas na aplicação dos materiais corretamente solicitado pelo fabricante.

Já a relação da qualidade dos materiais manifestou-se em 20 % dos casos, relativo à Edificação 2, apresentando problemas com a qualidade do material aplicado, já que em curto período ocorreu o desplacamento do revestimento externo.

Problemas quanto ao Uso e Ocupação após entrega das edificações aos seus proprietários, apresentou 40% das irregularidades detectadas como falhas ocorridas, principalmente pela sinalização de infiltração, concluindo que esse tipo de manifestação patológica pode ocasionar sérios estragos estruturais.

De acordo com as bibliografias estudadas, entende-se que essas manifestações patológicas associadas a umidade se mostram como manifestações graves, já que colocam em risco quem utiliza a edificação, evidenciando a necessidade de manutenção para que possa prolongar sua vida útil, evitando, na falta deste tratamento e recuperação uma progressão rápida e ininterrupta do problema. O projeto, suas características, o método executivo e acabamento, a matéria prima utilizada, enfim, tudo deve passar por um controle de qualidade para garantir eficiência e eficácia do sistema (Ribeiro e Carvalho, 2018).

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs a realização de estudo de caso que envolveu a análise de manifestações patológicas associadas a umidade em edificações unifamiliares em *Light Steel Frame*, e para auxiliar na tomada de decisões, o Método da matriz GUT foi empregado como uma ferramenta estratégica de inspeção.

O principal objetivo consistiu em diagnosticar essas manifestações patológicas associadas a umidade das residências em questão, utilizando para análise o registro fotográfico e descrição da causa, considerando a origem e o grau de risco / prioridade dos problemas identificados, destacando entre as mais visíveis, as manchas escuras, mofo e bolor.

Ao analisar os resultados, verificou-se que a maioria das anomalias são classificadas como umidade por infiltração, indicando que mais da metade dos problemas documentados decorrem de falhas construtivas. Os resultados obtidos evidenciam que as manifestações patológicas identificadas não decorrem de fatores isolados, mas da interação entre falhas executivas, inadequações na aplicação dos materiais e ausência de controle rigoroso durante as etapas construtivas. Tal constatação reforça que, em sistemas industrializados como o *Light Steel Frame*, a eficiência do desempenho da edificação está diretamente condicionada à precisão executiva, à compatibilização entre os subsistemas construtivos e ao atendimento rigoroso às especificações técnicas previstas em projeto.

A metodologia aplicada no desenvolvimento deste estudo mostrou-se eficaz, ao fornecer um resultado que estabeleceu a sequência de intervenções para reparo das manifestações patológicas, considerando a sua gravidade, urgência e tendência. Evidencia-se, então, a facilidade e a simplicidade de uso da ferramenta.

Diante do exposto, conclui-se a importância de estudos que abordem a investigação de manifestações patológicas em edificações, particularmente para o sistema LSF. Evidencia-se a necessidade da manutenção preventiva e da inspeção periódica nas edificações, como práticas que possibilitam identificar e priorizar as intervenções necessárias, garantindo a vida útil das estruturas e evitando o desperdício de recursos e materiais, o que, consequentemente, impulsiona a economia e a qualidade desejadas.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13752: *Perícias de engenharia na construção civil*. Rio de Janeiro: 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16970-1:2022: Light Steel Framing — sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamento em chapas delgadas — Parte 1: desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

_____. ABNT NBR 16747. *Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento*. Rio de Janeiro: 2020.

_____. ABNT NBR 5674: *Manutenção de edificações*. Rio de Janeiro: 2012.

CAMPOS, A. de. S. *Light Steel Framing traz novas possibilidades para a arquitetura*. Fórum da construção – instituto brasileiro de desenvolvimento da arquitetura, 2020. Disponível em: http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=29&Cod=84 . Acesso em: 18/09/2023.

LIRA, V.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. *Manifestações patológicas em inovações tecnológicas das vedações verticais de edificações habitacionais*. In: XV CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓNCONFERÊNCIA SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS. 6, 2019, Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.nppg.org.br/patorreb/files/artigos/80666.pdf Acesso em:13/10/2023.

MARINHO, J. L. A; MESQUITA, E. F. T. *Patologia das edificações: Manifestações nas edificações e no patrimônio histórico.* 2ª ed. Editora Leud, São Paulo, 2022. Disponível em: https://leudeditora.com.br/wp-ontent/uploads/2020/10/PatologiasEdificacoes_2ed2022_degustacao-1.pdf Acesso em: 11/09/2023.

NAPOLEÃO, Bianca M. *Matriz GUT (Matriz de Priorização*). Ferramentas da qualidade. Disponível em: https://ferramentasdaqualidade.org/matriz-gut-matriz-de-priorizacao/ Acesso: 20/01/2024.

PERIARD, Gustavo. *Matriz GUT: Guia Com*pleto, 2011. Disponível em: https://pt.scribd.com/document/414388476/Matriz-GUT-Guia-Completo . Acesso em: 20/01/2024.

RIBEIRO, V. M., CARVALHO, L. C. *Vantagens em adotar o light steel frame: Comparativo entre o método construtivo Light Steel Frame e o método convencional de alvenaria*. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, 2018. Disponível em: http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/644/1/Vitor.pdf Acesso em: 18/09/2023.

RODRIGUES, Francisco C.; CALDAS, Rodrigo B. *Steel Framing: Engenharia, Steel Framing: Engenharia. Instituto Aço Brasil / Centro Brasileiro da Construção em Aço*, Rio Janeiro, 2°ed, 2016. Disponível em: http://www.skylightestruturas.com.br/downloads/101497_manual_lsf_engenharia_2016.pdf Acesso em:18/09/2023.

RODRIGUEZ, Fabrício A.; RIBAS, Luciane F. *Saberes da Engenharia, Uma contribuição para a sociedade.* Editora Poisson, Belo Horizonte, 1°ed, 2023. Disponível em:

https://pesquisa.fametro.edu.br/wp-content/uploads/2023/05/Saberes_Engenharia_Vol3.pdf#page=35 Acesso em:14/10/2023.

SACCHI, C.; SOUZA, A. S. C. *Manifestações patológicas e controle de qualidade na montagem e fabricação de estruturas metálicas.* REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, 2016. Disponível em: https://revistas.ufg.br/reec/article/view/41214/pdf Acesso em:14/09/2023.

SANTIAGO, Alexandre Koke; FREITAS, Arlene M. Sarmanho; CRASTO, Renata C. M. *Manual de Construção em Aço, Steel Framing: Arquitetura. Instituto Aço Brasil / Centro Brasileiro da Construção em Aço*, Rio Janeiro, 2°ed, 2012. Disponível em: https://engprime.com.br/wp-content/uploads/2020/07/Manual_SF_Arquitetura_web.pdf Acesso em:18/09/2023.

SENA, G. O.; NASCIMENTO, M. L. M.; NETO, A. C. N.. *Patologia das Construções*. 2B Educação, Salvador – BA, 2020. Disponível em: https://www.ekoaeducacao.com.br/trechos/patologia-das-construcoes Acesso em:19/10/2023.

CAPÍTULO 83 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/t0b1nf80
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/1pa8kz42

GESTÃO DE RISCOS E IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS CONSTRUTIVAS EM EDIFÍCIOS HISTÓRICOS QUE ABRIGAM MUSEUS: CONTRIBUIÇÕES DO MÉTODO ABC

Eliza Hasselmann[1]*e Marcus Granato[2]
*Autor de contato: elizahasselmann@unirio.edu.br
[1]Doutoranda do PPG-PMUS, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil
[2] Coordenação de Museologia, Museu de Astronomia e Ciência e Afins, Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

Edifícios históricos que abrigam museus apresentam elevada complexidade técnica e simbólica, associada a limitações construtivas, processos de degradação e demandas contemporâneas de uso, impondo desafios à segurança, à conservação do patrimônio edificado e à proteção dos acervos museológicos. Nesse contexto, as patologias construtivas não devem ser compreendidas apenas como danos materiais isolados, mas como manifestações de riscos sistêmicos que afetam o desempenho da edificação. O presente artigo tem como objetivo analisar a importância da gestão de riscos como instrumento para a identificação de patologias construtivas e para a promoção da segurança em edifícios históricos que abrigam museus, discutindo a contribuição do método ABC como ferramenta de apoio à conservação preventiva e à tomada de decisão. Caracteriza-se como pesquisa qualitativa, exploratória e de natureza teórico-metodológica, fundamentada em revisão bibliográfica sistematizada, análise conceitual do método ABC e proposição metodológico-analítica, conforme diretrizes do *Canadian Conservation Institute*. Como resultado, apresenta-se um fluxograma cíclico autoral que integra etapas da engenharia diagnóstica à lógica da gestão de riscos, visando correlacionar manifestações patológicas, agentes de deterioração e magnitude dos riscos. Conclui-se que a articulação entre gestão de riscos e Patologia das Construções apresenta potencial para fortalecer estratégias de conservação preventiva, segurança institucional e sustentabilidade do uso de edifícios históricos, desde que aplicada de forma complementar aos instrumentos técnicos de diagnóstico e monitoramento.

Palavras-chave: Gestão de riscos; Museus; Método ABC; Patologias construtivas; Edifícios históricos.

ABSTRACT

Historic buildings housing museums present technical and symbolic complexity, associated with construction limitations, deterioration processes, and contemporary usage demands, posing challenges to safety, the conservation of built heritage, and the protection of museum collections. In this context, building pathologies should not be understood as isolated material damage, but rather as manifestations of systemic risks affecting the building's performance. This article aims to analyse the importance of risk management as a tool for identifying building pathologies and promoting safety in historic buildings housing museums, discussing the contribution of the ABC method as a supporting instrument for preventive conservation and decision-making. The study is characterised as qualitative, exploratory, and theoretical-methodological in nature, grounded in a systematised literature review, conceptual analysis of the ABC method, and a methodological-analytical proposition in accordance with the guidelines of the *Canadian Conservation Institute*. As a result, the article presents a cyclical flowchart integrating stages of diagnostic engineering with the logic of risk management, aiming to correlate pathological manifestations, deterioration agents, and the magnitude of risks. It is concluded that the articulation between risk management and Building Pathology demonstrates potential to strengthen strategies for preventive conservation, institutional safety, and the sustainable use of historic buildings, provided that it is applied in a complementary manner alongside technical diagnostic and monitoring instruments.

Keywords: Risk management; Museums; ABC method; Building pathologies; Historic buildings.

1. INTRODUÇÃO

Os edifícios históricos que abrigam museus configuram sistemas patrimoniais de elevada complexidade técnica, funcional e simbólica, nos quais coexistem valores arquitetônicos, históricos, sociais e de uso contemporâneo. Em geral, encontram-se desvinculados das funções para as quais foram originalmente projetados e apresentam técnicas construtivas e materiais característicos de seu período histórico, os quais estão sujeitos a processos naturais de degradação, às ações ambientais e às solicitações decorrentes do uso atual (Carvalho, 2014).

Essas edificações frequentemente apresentam limitações intrínsecas associadas à sua época construtiva, agravadas pela sobreposição de intervenções realizadas ao longo do tempo e pela ausência ou insuficiência de documentação técnica confiável acerca dessas modificações. Essa condição dificulta a compreensão adequada do comportamento estrutural e construtivo do edifício, comprometendo a tomada de decisões técnicas fundamentadas e compatíveis com os princípios da conservação do patrimônio edificado (Tinoco, 2013). Além disso, a precariedade de registros técnicos e a descontinuidade de práticas de manutenção preventiva contribuem para o agravamento progressivo de vulnerabilidades construtivas e funcionais ao longo do tempo (IBRAM, 2021).

Nesse contexto, manifestações patológicas como fissuração, infiltrações, umidade ascendente, degradação de argamassas históricas, biodeterioração e falhas em sistemas prediais não devem ser compreendidas apenas como problemas materiais isolados, mas como expressões físicas de processos de desgaste mais amplos, complexos e inter-relacionados. Quando não identificadas de forma precoce, essas patologias podem evoluir para comprometimentos estruturais significativos, afetando simultaneamente a segurança dos usuários, a integridade da edificação e a conservação dos acervos museológicos (Assis *et al.,* 2019).

A instalação de museus em edificações históricas configura uma condição técnica particularmente complexa, uma vez que espaços originalmente concebidos para funções administrativas, religiosas, residenciais ou industriais passam a abrigar atividades que demandam rigoroso controle ambiental, segurança estrutural e infraestrutura predial especializada. Essa adaptação funcional impõe novas exigências técnicas ao edifício, muitas vezes incompatíveis com sua configuração construtiva original, exigindo adequações cuidadosas e compatíveis com os princípios da preservação patrimonial.

Desse modo, observa-se que a arquitetura preexistente impõe limites físicos e construtivos à implantação de reservas técnicas, sistemas de climatização e sistemas de combate a incêndio, além das adequações de carga estrutural. Soma-se a esse cenário a recorrente presença de instalações elétricas antigas, muitas vezes dimensionadas para demandas significativamente inferiores às atuais e executadas segundo normas já superadas. A obsolescência desses sistemas, associada a emendas improvisadas e à sobrecarga de circuitos, eleva substancialmente o risco de curtos-circuitos e incêndios, exigindo diagnósticos técnicos rigorosos e processos de atualização compatíveis com a preservação do patrimônio. É importante que a compatibilização entre sistemas construtivos antigos e exigências contemporâneas envolva avaliação de desempenho, análise de patologias e intervenções minimamente invasivas.

Nas últimas décadas, observa-se um deslocamento progressivo das práticas centradas em intervenções corretivas pontuais para abordagens orientadas pela conservação preventiva e pela gestão de riscos. Essa mudança de paradigma, amplamente defendida por organismos internacionais como o Centro Internacional de Estudos para a Conservação e Restauro de Bens Culturais (ICCROM), o Conselho Internacional de Museus (ICOM) e a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), reconhece que a antecipação dos riscos e a compreensão de seus impactos potenciais constituem condições essenciais para a preservação

sustentável do patrimônio cultural edificado (ICCROM, 2011; CCI, 2023). Autores como Michalski e Pedersoli Jr. (2016) destacam que a gestão de riscos permite superar abordagens estritamente reativas, promovendo uma leitura sistêmica dos processos de deterioração e de suas consequências sobre os valores culturais dos bens.

O gerenciamento de riscos aplicado aos edifícios museológicos responde a essa necessidade ao propor uma análise sistemática das ameaças que podem comprometer o desempenho estrutural, funcional e ambiental das edificações. Ao identificar, analisar, avaliar e tratar os riscos, essa abordagem permite reconhecer patologias como fissuras, infiltrações, corrosão de armaduras e degradação de revestimentos não apenas como danos existentes, mas como indicadores de riscos ativos ou latentes. Dessa forma, a gestão de riscos contribui para a priorização de intervenções, a racionalização de recursos e a ampliação da vida útil das edificações, conciliando preservação patrimonial, segurança e funcionalidade (Coelho; Pinheiro; Sá, 2020; COC/FIOCRUZ, 2020).

O método ABC de análise de riscos, desenvolvido no *Canadian Conservation Institute* (CCI) e consolidado em colaboração com o ICCROM a partir do início dos anos 2000, destaca-se como uma das ferramentas estruturantes no campo da conservação preventiva, ao propor uma abordagem sistemática voltada à compreensão da magnitude dos riscos que incidem sobre bens culturais (Michalski e Pedersoli Jr. 2016; ICCROM; CCI, 2023). O método fundamenta-se na articulação de três variáveis centrais: a probabilidade de ocorrência do evento danoso, a fração do valor afetado e a severidade da perda resultante. Essa estrutura permite hierarquizar ameaças de naturezas distintas e subsidiar o planejamento estratégico de ações de conservação em médio e longo prazo (Michalski; Pedersoli Jr., 2016).

Do ponto de vista conceitual, o método ABC enfatiza a relação entre agentes de deterioração, processos de degradação e consequências para os valores culturais do bem. A adoção dos denominados “dez agentes de deterioração”, entre eles forças físicas, fogo, água, ações humanas, contaminantes e pragas, favorece uma leitura integrada dos riscos que afetam simultaneamente o edifício histórico e os acervos museológicos nele contidos (ICCROM, 2020; CCI, 2023). Essa abordagem revela-se especialmente pertinente em edifícios museus, nos quais manifestações patológicas podem ser compreendidas como evidências materiais de processos cumulativos de deterioração, frequentemente intensificados por condições ambientais inadequadas e por limitações de manutenção e monitoramento (Assis *et al*., 2019).

Embora a literatura especializada apresente avanços significativos nos campos da conservação preventiva, da gestão de riscos e da patologia das construções, observa-se que tais abordagens ainda são frequentemente desenvolvidas de maneira dissociada, sobretudo quando aplicadas ao patrimônio edificado adaptado para uso museológico (COELHO; PINHEIRO; SÁ, 2020; IBRAM, 2021). Verifica-se sob essa perspectiva que a identificação e o tratamento de patologias construtivas em edificações históricas museológicas ainda ocorrem predominantemente por meio de intervenções corretivas pontuais, muitas vezes desvinculadas de procedimentos sistematizados de avaliação e hierarquização de riscos (COC/FIOCRUZ, 2020; IBRAM, 2021).

Adicionalmente, a revisão bibliográfica realizada evidencia que permanecem limitadas as pesquisas que proponham, de forma sistematizada, a integração metodológica entre engenharia diagnóstica, gestão de riscos e patologia das construções aplicada especificamente ao contexto de edifícios históricos que abrigam museus, sobretudo na literatura técnica nacional. Essa lacuna restringe o desenvolvimento de instrumentos analíticos capazes de subsidiar, de maneira integrada, a tomada de decisão técnica e o planejamento preventivo das intervenções patrimoniais.

Desse modo, essa lacuna limita a priorização técnica das intervenções, compromete a alocação eficiente de recursos e pode ampliar riscos à segurança estrutural, aos usuários e **aos acervos, especialmente em contextos de restrição institucional e escassez documental (IBRAM, 2021; COC/FIOCRUZ, 2020).**

Diante do exposto, este estudo propõe discutir a integração entre engenharia diagnóstica e gestão de riscos por meio de uma abordagem fundamentada no método ABC, buscando contribuir para a compreensão sistêmica das patologias construtivas em edificações históricas museológicas. Assim, o presente artigo tem como objetivo analisar a importância da gestão de riscos como instrumento para a identificação de patologias construtivas e para a promoção da segurança em edifícios históricos que abrigam museus, discutindo a contribuição do método ABC como ferramenta aplicável à engenharia diagnóstica e à conservação preventiva. Para tanto, adota-se uma abordagem teórico-metodológica apoiada em proposição metodológico-analítica voltada à articulação entre gestão de riscos e análise diagnóstica das manifestações patológicas. Busca-se, ainda, discutir criticamente as potencialidades e limitações do método no contexto brasileiro, considerando condicionantes climáticas, institucionais e documentais que influenciam diretamente sua aplicabilidade e efetividade.

2. PROCEDIMENTOS

Os procedimentos adotados neste artigo caracterizam-se como pesquisa qualitativa, de natureza exploratória, descritivo e analítica (Gil, 2008), fundamentada em revisão bibliográfica sistematizada, análise documental e proposição metodológico-analítica aplicada ao contexto da engenharia diagnóstica em edificações históricas que abrigam museus. Trata-se de um estudo de caráter teórico-metodológico, voltado à discussão da gestão de riscos como instrumento de apoio à identificação, interpretação e hierarquização de manifestações patológicas no patrimônio edificado.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sistematizada, abrangendo livros, artigos científicos, publicações técnicas, normas e documentos institucionais nacionais e internacionais relacionados aos temas de patologia das construções, engenharia diagnóstica, conservação preventiva, gestão de riscos e preservação do patrimônio cultural edificado. Foram priorizadas publicações e diretrizes de organismos internacionais reconhecidos, como o Centro Internacional de Estudos para a Conservação e Restauro de Bens Culturais (ICCROM), o Conselho Internacional de Museus (ICOM) e o *Canadian Conservation Institute* (CCI), bem como documentos técnicos de instituições brasileiras vinculadas à preservação patrimonial e ao setor museológico, como o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e o Instituto Brasileiro de Museus (IBRAM).

A seleção do referencial teórico considerou a pertinência temática, a relevância institucional das fontes consultadas e sua aderência ao objeto de estudo, priorizando documentos amplamente reconhecidos na literatura especializada e na prática técnico-profissional da conservação patrimonial e da gestão de riscos. Ressalta-se que, embora esse estudo não contemple aplicação empírica em estudo de caso, a proposição metodológico-analítica apresentada fundamenta-se em diretrizes consolidadas da literatura especializada e busca contribuir para a estruturação de futuras aplicações práticas do método ABC no contexto da engenharia diagnóstica.

Os materiais selecionados foram analisados qualitativamente com o objetivo de identificar convergências conceituais, contribuições metodológicas e lacunas relacionadas à integração entre a avaliação de riscos e o tratamento de patologias construtivas em edificações históricas museológicas. Na sequência, procedeu-se à análise conceitual do método ABC de análise de riscos, considerando seus fundamentos, estrutura e etapas de aplicação, com ênfase nas variáveis centrais do modelo: probabilidade de ocorrência do evento danoso, fração do valor afetado e severidade da perda.

A partir dessa análise, discutiu-se a adequação do método ao contexto de edificações históricas que abrigam museus, especialmente quanto à interpretação das manifestações patológicas como indicadores de vulnerabilidades associadas a processos de deterioração e riscos ativos ou latentes,

com potencial impacto sobre a segurança estrutural, o desempenho funcional e a conservação dos valores patrimoniais.
Como etapa complementar, foi elaborada uma estrutura metodológico-analítica representada por meio de fluxograma autoral, com o objetivo de sistematizar a aplicação teórica do método ABC à identificação, análise e hierarquização de riscos associados às principais manifestações patológicas observadas em edifícios históricos museológicos. A estrutura proposta busca demonstrar, de forma lógica e sequencial, a possível operacionalização do método como ferramenta de suporte à tomada de decisão na engenharia diagnóstica.
Ressalta-se que a proposição apresentada possui caráter teórico-analítico e ilustrativo, não se configurando como validação empírica do modelo, uma vez que não foi aplicada diretamente em estudo de caso específico. Sua finalidade consiste em oferecer referencial inicial para subsidiar futuras aplicações práticas e investigações empíricas voltadas à adaptação do método ABC ao contexto da patologia das construções em edificações patrimoniais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos referenciais teóricos consultados, associada à proposição metodológico-analítica desenvolvida neste estudo, indica que a gestão de riscos, especialmente por meio do método ABC, apresenta potencial relevante como instrumento de apoio à identificação, interpretação e hierarquização de manifestações patológicas em edifícios históricos com uso museológico. Conforme diretrizes do Centro Internacional de Estudos para a Conservação e Restauro de Bens Culturais (ICCROM) e do *Canadian Conservation Institute* (CCI), essa perspectiva permite compreender fissuras, infiltrações, umidade ascendente, biodeterioração e falhas em sistemas prediais não apenas como danos localizados, mas como indícios de processos de deterioração com potencial de comprometer o desempenho global do edifício e a segurança institucional (ICCROM, 2020; CCI, 2023).
Os resultados aqui apresentados possuem natureza teórico-conceitual e decorrem da articulação entre os referenciais analisados e da proposição metodológico-analítica elaborada, não devendo ser interpretados como validação empírica do método no contexto estudado.
Em edificações históricas musealizadas, tais manifestações frequentemente decorrem da interação entre fatores ambientais, limitações construtivas, alterações de uso e falhas de manutenção. Nesse contexto, a abordagem proposta pelo método ABC favorece uma leitura integrada dos mecanismos de degradação ao associar as patologias aos agentes de deterioração, como água, forças físicas, variações climáticas, contaminantes, pragas e ações humanas. Essa associação amplia a capacidade diagnóstica ao permitir que os danos observados sejam interpretados como riscos ativos ou latentes, orientando medidas preventivas e decisões técnicas fundamentadas.
Dessa forma, o método ABC apresenta potencial para contribuir com rotinas de engenharia diagnóstica, especialmente quando articulado a inspeções prediais e estratégias de conservação preventiva. Contudo, sua aplicação em edifícios históricos exige cautela, uma vez que a mensuração de probabilidade e severidade pode ser limitada pela ausência de registros técnicos, séries históricas e monitoramento sistemático, realidade recorrente em instituições brasileiras.

3.1 Gestão de riscos e identificação de patologias construtivas em edifícios para museus

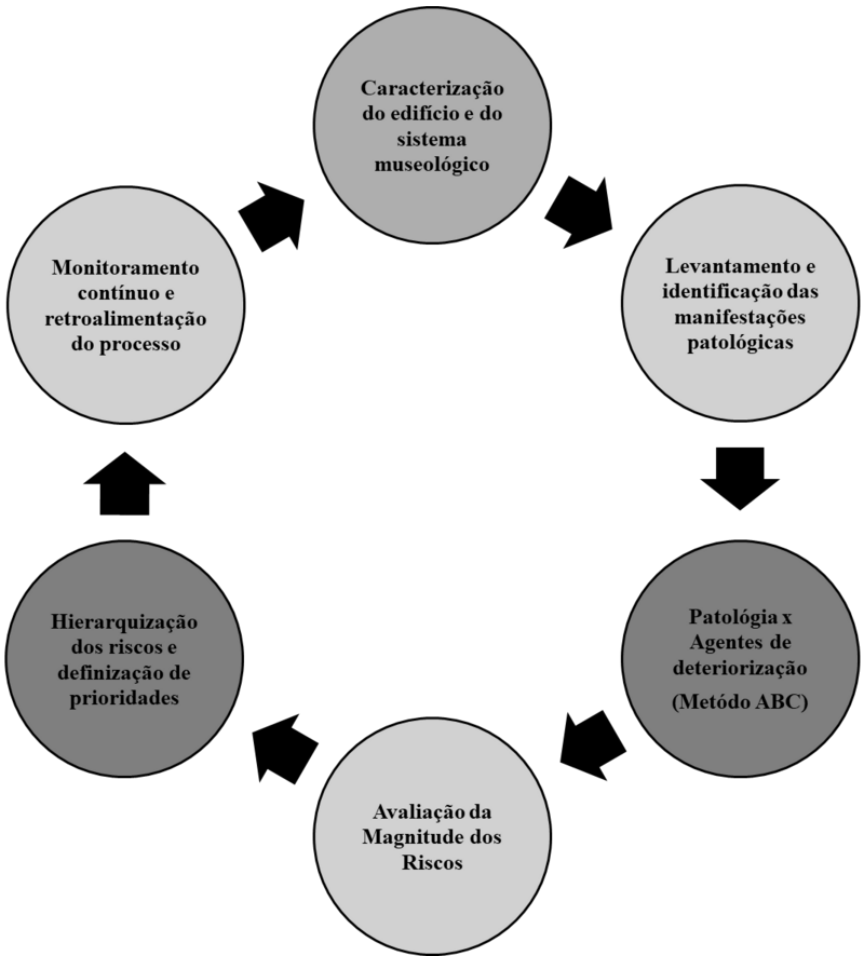
A partir dessa literatura, observou-se que a aplicação conceitual do método ABC, conforme estruturada na proposição metodológico-analítica, auxilia na organização de um raciocínio diagnóstico ao associar manifestações patológicas a cenários de risco, superando abordagens meramente descritivas tradicionalmente adotadas em análises patológicas. Essa contribuição é

particularmente importante quando não existem dados sistematizados para o edifício, condição recorrente em edificações históricas brasileiras.

Com base na análise conceitual do método ABC, foi desenvolvido um fluxograma cíclico autoral que sistematiza sua aplicação à identificação e à gestão de patologias construtivas em edifícios históricos destinados ao uso museológico (Figura 1). O fluxograma possui caráter conceitual e ilustrativo, tendo como finalidade demonstrar a integração entre etapas da engenharia diagnóstica e a lógica da gestão de riscos, sem pretensão de constituir protocolo normativo. A proposta busca aproximar os fundamentos do método ABC das etapas convencionais de inspeção, diagnóstico e priorização de intervenções, integrando o levantamento de manifestações patológicas ao processo de análise e hierarquização de riscos.

Nesse modelo, as patologias construtivas constituem o ponto de partida para a identificação dos riscos, sendo interpretadas como indicadores materiais de processos de deterioração associados a agentes específicos. A avaliação da magnitude dos riscos, considerando probabilidade de ocorrência, fração do valor afetado e severidade da perda, permite hierarquizar ameaças e subsidiar a definição de prioridades de intervenção. Assim, o caráter cíclico do fluxograma reforça a lógica da conservação preventiva, na qual o monitoramento contínuo é essencial para atualização das análises e para redução progressiva das vulnerabilidades ao longo do tempo.

Figura 1 – **Fluxograma cíclico autoral de aplicação do método ABC à identificação de patologias construtivas**



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 1 indica que a integração entre engenharia diagnóstica e gestão de riscos pode fortalecer a tomada de decisão ao transformar inspeções e levantamentos patológicos em instrumentos estratégicos de planejamento. Assim, a análise não se limita à descrição do dano, mas amplia-se para a compreensão de sua evolução provável e de seus impactos sobre segurança estrutural, preservação patrimonial e proteção do acervo museológico.

A Tabela 1 sintetiza a relação entre manifestações patológicas recorrentes em edifícios históricos para museus, os principais agentes de deterioração associados e os riscos decorrentes. Observa-se que patologias como fissuração estrutural, infiltrações e degradação de argamassas históricas raramente possuem causas únicas, resultando, em geral, da combinação entre fatores físicos, ambientais e operacionais. Essa constatação reforça que diagnósticos exclusivamente corretivos tendem a ser insuficientes, pois tratam sintomas sem enfrentar a dinâmica de deterioração que sustenta o problema.

Tabela 1 – Relação entre patologias construtivas e agentes de deterioração segundo o método ABC

Patologia construtiva	**Principais agentes de deterioração (ABC)**	**Riscos associados**
Fissuração estrutural	Forças físicas, variações térmicas	Comprometimento estrutural e segurança
Infiltrações e umidade ascendente	Água, falhas construtivas	Degradação de materiais e acervos
Degradação de argamassas históricas	Água, contaminantes, clima	Perda de material original
Biodeterioração	Umidade, pragas	Danos a superfícies e elementos decorativos
Falhas em sistemas prediais	Ações humanas, falhas de manutenção	Riscos à segurança e ao acervo

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em ICCROM (2020) e CCI (2023)

A correlação apresentada na Tabela 1 demonstra que uma mesma manifestação patológica pode estar associada simultaneamente a diferentes agentes de deterioração, o que evidencia a necessidade de análises integradas de causas primárias e secundárias. Nesse sentido, o método ABC não substitui o diagnóstico técnico especializado, mas contribui como instrumento complementar ao permitir a comparação entre riscos distintos e a priorização de ações de maior impacto preventivo.

3.2 Desempenho ambiental, conservação preventiva e segurança

A análise dos referenciais teóricos consultados, associada à proposição metodológico-analítica desenvolvida, expõe que o desempenho ambiental das edificações históricas exerce papel determinante tanto na intensificação das patologias construtivas quanto na conservação dos acervos museológicos. Estudos de Assis *et al.* (2019) demonstram que deficiências relacionadas à ventilação, controle de umidade e resposta às variações climáticas podem acelerar processos de deterioração e comprometer simultaneamente a integridade dos materiais construtivos e dos bens culturais preservados.

Ressalta-se, contudo, que tais interpretações decorrem da literatura analisada e da abordagem teórico-analítica adotada neste estudo, não sendo provenientes de medições diretas ou monitoramento empírico realizados pelos autores.

Com base nos referenciais analisados, a Tabela 2 descreve que condições como elevada umidade relativa, variações térmicas excessivas e ventilação insuficiente favorecem a biodeterioração, a

corrosão, a degradação química e a perda de desempenho de sistemas prediais. Sob a ótica do método ABC, tais situações configuram riscos de elevada magnitude, pois combinam alta probabilidade de ocorrência com efeitos cumulativos e danos progressivos, frequentemente irreversíveis (CCI, 2023).

Tabela 2 – Impactos do desempenho ambiental na conservação preventiva

Condição ambiental inadequada	Efeitos no edifício histórico	Impactos nos acervos
Alta umidade relativa	Umidade ascendente, biodeterioração	Corrosão, fungos, deterioração orgânica
Variações térmicas excessivas	Fissuração, movimentações estruturais	Tensões e danos em materiais sensíveis
Ventilação insuficiente	Acúmulo de umidade e contaminantes	Aceleração da degradação química e do possível crescimento de fungos
Falta de monitoramento	Progressão silenciosa de patologias	Perdas acumulativas e irreversíveis

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em Assis *et al*. (2019) e CCI (2023).

Entretanto, destaca-se que o controle ambiental em edifícios históricos deve ser planejado com cautela, pois soluções tecnológicas inadequadas podem gerar riscos adicionais ao edifício, como condensação interna, alterações higroscópicas e sobrecargas elétricas. Assim, a gestão de riscos deve avaliar não apenas os danos decorrentes da ausência de controle ambiental, mas também os riscos induzidos por intervenções incompatíveis com a lógica construtiva original.

Dessa forma, a gestão de riscos permite integrar a análise do desempenho ambiental do edifício às exigências específicas de conservação do acervo, superando a separação tradicional entre conservação arquitetônica e conservação museológica. O edifício passa a ser compreendido como componente ativo do sistema de preservação, e não apenas como suporte físico do conteúdo expositivo.

3.3 Aplicações institucionais do método ABC e apoio à tomada de decisão

Experiências institucionais brasileiras, como as desenvolvidas pelo Instituto Brasileiro de Museus (IBRAM, 2021) e pela Casa de Oswaldo Cruz/Fiocruz (FIOCRUZ, 2020), **indicam que** a gestão de riscos baseada no método ABC contribui para a priorização de intervenções, racionalização de recursos e fortalecimento da segurança institucional. Tais iniciativas **sugerem** que a adoção de metodologias preventivas pode reduzir a dependência de ações emergenciais e favorecer planejamentos técnicos de médio e longo prazo.

Estudos como os de Coelho, Pinheiro e Sá (2020) apontam que a ausência de diagnósticos integrados frequentemente conduz a intervenções corretivas de baixa eficácia, voltadas ao tratamento imediato dos sintomas sem enfrentamento das causas estruturais e ambientais. Nesse cenário, a aplicação do método ABC favorece a identificação de interdependências entre riscos estruturais, ambientais e funcionais, ampliando a capacidade de planejamento e orientando investimentos em ações com maior retorno preventivo.

A Tabela 3 sintetiza as contribuições da gestão de riscos aplicada a edifícios históricos museológicos, destacando sua relevância para a organização das informações técnicas e para o fortalecimento da tomada de decisão institucional.

Tabela 3 – Contribuições da gestão de riscos para edifícios históricos que abrigam museus

Aspecto analisado	Contribuições da gestão de riscos
Identificação de patologias	Reconhecimento de riscos ativos e latentes
Planejamento de intervenções	Priorização baseada na magnitude dos riscos
Uso de recursos	Otimização e racionalização de investimentos
Segurança	Redução de riscos a usuários e acervos
Tomada de decisão	Base técnica e metodológica estruturada

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em ICCROM (2020); IBRAM (2021); FIOCRUZ (2020) e CCI (2023).

Um aspecto crítico frequentemente negligenciado em edifícios históricos para museus refere-se à segurança contra incêndio, caracterizada como risco de baixa probabilidade, porém de impacto catastrófico. Incêndios são reiteradamente destacados por organismos internacionais como ameaça prioritária ao patrimônio cultural, especialmente devido ao potencial de destruição total do edifício e dos acervos. No contexto brasileiro, eventos como o incêndio do Museu Nacional, em 2018, evidenciam a gravidade desse risco e demonstram como falhas de manutenção e degradação de sistemas prediais podem ampliar significativamente a vulnerabilidade institucional.

Além do risco direto de perda patrimonial, destaca-se que intervenções voltadas à segurança contra incêndio, quando utilizadas sem critérios de compatibilidade técnica e patrimonial, podem induzir novas patologias, como cortes em elementos estruturais para passagem de dutos, sobrecargas elétricas e alterações construtivas inadequadas. Nesse sentido, o método ABC contribui ao permitir a comparação entre o risco de incêndio e os riscos associados às soluções propostas, favorecendo estratégias equilibradas que conciliem segurança e preservação.

A análise desenvolvida ao longo deste estudo assinala que a gestão de riscos, ao integrar variáveis estruturais, ambientais e operacionais, amplia significativamente a capacidade de tomada de decisão em contextos de incerteza, característica marcante das edificações históricas.

De modo geral, os referenciais analisados e a discussão teórico-metodológica desenvolvida indicam que a gestão de riscos baseada no método ABC amplia a capacidade de identificação e interpretação das manifestações patológicas em edifícios históricos museológicos. Ao deslocar o foco da intervenção emergencial para o controle contínuo dos processos de deterioração, essa abordagem fortalece estratégias de conservação preventiva, planejamento técnico e promoção da segurança. Contudo, sua aplicação depende diretamente da existência de dados confiáveis, monitoramento ambiental contínuo e equipes multidisciplinares, fatores que ainda representam desafios em diversas instituições brasileiras.

4. CONCLUSÕES

Como principal contribuição, este estudo apresenta uma proposição metodológico-analítica voltada à integração entre engenharia diagnóstica e gestão de riscos, estruturada a partir do método ABC, oferecendo um referencial teórico aplicável à análise de patologias construtivas em edificações históricas museológicas.

A análise desenvolvida neste trabalho indica que a gestão de riscos constitui um instrumento relevante para apoiar a identificação, interpretação e mitigação de patologias construtivas em edifícios históricos que abrigam museus. Ao tratar manifestações como fissuração, infiltrações, umidade ascendente e falhas em sistemas prediais como indicadores de processos de deterioração e de vulnerabilidades associadas, amplia-se a capacidade de antecipação de cenários críticos e de planejamento de intervenções mais consistentes, contribuindo simultaneamente para a segurança dos usuários, a preservação do patrimônio edificado e a conservação dos acervos museológicos.

Com base na abordagem teórico-metodológica adotada, observa-se que a aplicação conceitual do método ABC, conforme discutida a partir das diretrizes do ICCROM e do CCI, mostra-se potencialmente adequada para estruturar essa abordagem preventiva, ao possibilitar a correlação entre agentes de deterioração, manifestações patológicas e impactos sobre os valores culturais do bem. Nesse contexto, a hierarquização dos riscos a partir das variáveis de probabilidade de ocorrência, fração do valor afetado e severidade da perda constitui importante subsídio à definição de prioridades de intervenção e à racionalização de recursos, aspecto essencial para as instituições brasileiras.

Adicionalmente, este trabalho apresentou um fluxograma autoral que integra etapas da engenharia diagnóstica à lógica do método ABC, aproximando a gestão de riscos das rotinas de inspeção predial e de planejamento da manutenção. Essa proposição reforça a compreensão do edifício como componente ativo do sistema de conservação preventiva e amplia a aplicabilidade do método para além do enfoque tradicional voltado exclusivamente aos acervos móveis.

Entretanto, a discussão crítica evidenciou limitações relevantes para efetivar o uso do método ABC em edificações históricas museológicas no Brasil, especialmente relacionadas à escassez de documentação técnica, à ausência de séries históricas de monitoramento ambiental, às restrições orçamentárias e à complexidade inerente às técnicas construtivas tradicionais. Tais condições indicam que o método deve ser compreendido como ferramenta complementar aos instrumentos clássicos da engenharia, como inspeções, diagnósticos estruturais e planos de manutenção, e não como solução isolada. Além disso, ressalta-se como limitação da presente pesquisa a ausência de aplicação empírica da proposição metodológico-analítica desenvolvida, circunstância que restringe as conclusões à esfera teórico-conceitual.

Diante disso, conclui-se que a gestão de riscos, quando articulada a diagnósticos construtivos integrados, representa estratégia tecnicamente consistente para fortalecer a conservação preventiva, ampliar a segurança institucional e garantir a sustentabilidade do uso contemporâneo de edifícios históricos que abrigam museus. A originalidade do estudo reside na proposição de uma articulação analítica entre os referenciais da engenharia diagnóstica e da gestão de riscos patrimoniais, ampliando o campo de aplicação do método ABC para além de sua utilização tradicional voltada predominantemente à conservação de acervos móveis. Recomenda-se, como desdobramento futuro, a aplicação prática da proposição metodológico-analítica aqui apresentada em estudos de caso, de modo a validar sua operacionalização e contribuir para o aprimoramento de metodologias de gestão do patrimônio cultural edificado no Brasil, bem como o desenvolvimento de protocolos operacionais que permitam sua adaptação às condições técnicas e institucionais nacionais.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho constitui um recorte de tese de doutorado em andamento e foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ASSIS, Eleonora Sad de et al. A influência do clima na conservação preventiva de acervos e o papel dos edifícios que abrigam coleções. In: **SIMPÓSIO CIENTÍFICO DO ICOMOS BRASIL**, 3., 2019, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: ICOMOS Brasil, 2019. Disponível em: https://www.even3.com.br/anais/iiisimposioicomosbrasil/149267-a-influencia-do-clima-na-conservacao-preventiva-de-acervos-e-o-papel-dos-edificios-que-abrigam-colecoes/. Acesso em: 22 jan. 2026.

CANADIAN CONSERVATION INSTITUTE (CCI). **Risk management for heritage collections**. Government of Canada, 2023. Disponível em: https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/risk-management-heritage-collections.html. Acesso em: 5 jan. 2026.

CARVALHO, Claudia Rodrigues. Conservação preventiva de edifícios e sítios históricos: pesquisa e prática. **Revista CPC**, São Paulo, Brasil, n. 18, p. 141–153, 2014. DOI: 10.11606/issn.1980-4466.v0i18p141-153. Disponível em: https://revistas.usp.br/cpc/article/view/88655. Acesso em: 10 fev. 2026.

COC/FIOCRUZ – Casa de Oswaldo Cruz. **Gestão de riscos: resultados do primeiro ciclo de aplicação da metodologia**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2020. Disponível em: https://coc.fiocruz.br/todas-as-noticias/patrimonio-cultural-da-fiocruz/. Acesso em: 20 jan. 2026.

COELHO, Carla Maria Teixeira; PINHEIRO, Marcos José de Araújo; SÁ, Bruno Teixeira de. **Aplicando a gestão de riscos a edifícios históricos e acervos móveis da casa de Oswaldo Cruz / FIOCRUZ**. In: Anais do 4º Simpósio Científico do ICOMOS Brasil. Anais...Belo Horizonte (MG) Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https//www.even3.com.br/anais/simposioicomos2020/243103-APLICANDO-A-GESTAO-DE-RISCOS-A-EDIFICIOS-HISTORICOS-E-ACERVOS-MOVEIS-DA-CASA-DE-OSWALDO-CRUZ—FIOCRUZ. Acesso em: 19/01/2026

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Museus. **Cartilha do Programa de Gestão de Riscos ao Patrimônio Musealizado Brasileiro**. Brasília: IBRAM, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/museus/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programas-projetos-acoes-obras-e-atividades/gestao-de-risco-ao-patrimonio-musealizado. Acesso em: 05 jan. 2026.

ICCROM – International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property. *A guide to risk management of cultural heritage.* Rome: ICCROM, 2011. Disponível em: https://www.iccrom.org/sites/default/files/2017-12/risk_management_guide_english_web.pdf?utm_source. Acesso em: 22 jan. 2026.

ICCROM. *Managing risks to cultural heritage: the ABC method.* Rome: ICCROM, 2020. Disponível em: https://www.iccrom.org/sites/default/files/2017-12/risk_manual_2016-eng.pdf. Acesso em: 21 jan. 2026.

MICHALSKI, Stefan; PEDERSOLI JR., José Luiz. *The ABC method: a risk management approach to the preservation of cultural heritage.* Ottawa: Canadian Conservation Institute;

Rome: ICCROM, 2016. Disponível em: https://www.iccrom.org/sites/default/files/2017-12/risk_manual_2016-eng.pdf . Acesso em: 4 fev. 2026.

Tinoco, J. E. L. (2013). **Plano de Gestão da Conservação para edificações de valor cultura**l. *Revista CPC*, *17*, 94-107. https://doi.org/10.11606/issn.1980-4466.v0i17p94-107. Disponível em: https://revistas.usp.br/cpc/article/view/69156. Acesso em: 12 jan. 2026.

CAPÍTULO 84 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/6v3g8k79
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/bmpxxe64

FISSURAS EM VÃOS DE ESQUADRIAS: ESTUDO EM EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES NO MUNICÍPIO DE CRICIÚMA/SC

Gislaine Andrade Lima Demétrio[1]*, Diego Haltiery dos Santos[2]; Anderson Augusto Muller[3], Felipe Trez Rodrigues[4]; João Paulo Mendes[5]
*Autor de contato: gislainengcivil@gmail.com
[1]Graduanda, Departamento de Engenharia Civil, IFSC – Criciúma, Criciúma, Brasil
[2]Professor, Departamento de Engenharia Civil, IFSC – Criciúma, Criciúma, Brasil
[3]Professor, Departamento de Engenharia Civil, IFSC – Criciúma, Criciúma, Brasil
[4]Professor, Departamento de Engenharia Civil, IFSC – Criciúma, Criciúma, Brasil
[5]Professor, Departamento de Engenharia Civil, UNIBAVE, Orleans, Brasil

RESUMO

As manifestações patológicas permanecem como um dos principais desafios da construção civil, dentre elas as fissuras diagonais no vão das aberturas se destacam por afetar o desempenho e a durabilidade das fachadas. O presente estudo analisou as possíveis causas e fatores associados ao surgimento de fissuras diagonais em vãos de esquadrias em um conjunto habitacional multifamiliar, composto por estrutura em concreto armado e sistema de vedação em alvenaria de blocos cerâmicos. A investigação foi conduzida por meio de análise documental, inspeções visuais, registros fotográficos e cruzamento de dados. Os resultados indicaram maior incidência de fissuras nas fachadas voltadas para o oeste, evidenciando a influência das variações térmicas e dos processos de dilatação e retração nos revestimentos. Observou-se ainda que o diâmetro das barras utilizadas nas vergas e contravergas, associado ao dimensionamento insuficiente e à falta de detalhamento adequado, contribui para a concentração de tensões nas regiões próximas às esquadrias. O estudo apresenta uma proposta construtiva para este problema e reforça a importância da compatibilização entre projetos e do controle executivo como medidas essenciais para a prevenção de patologia e para a melhoria do desempenho e da durabilidade das edificações.
Palavras-chave: Fissuras; Esquadrias; Vergas e contravergas; Alvenaria de vedação; Patologia.

ABSTRACT

Pathological manifestations remain one of the main challenges in the construction industry. Among them, diagonal cracks at window openings stand out for affecting the performance and durability of façades. This study analyzed the possible causes and factors associated with the occurrence of diagonal cracks around window openings in a multifamily housing complex with reinforced concrete structure and non-structural ceramic block masonry walls. The investigation was conducted through document analysis, visual inspections, photographic records, and data cross-referencing. The results indicated a higher incidence of cracks on west-facing façades, highlighting the influence of thermal variations and the expansion and contraction processes of coating materials. It was also observed that the diameter of the reinforcement bars used in lintels and sill beams, combined with insufficient design and lack of proper detailing, contributes to stress concentration in regions close to window frames. The study presents a constructive proposal to address this issue and reinforces the importance of project compatibility and construction control as essential measures for preventing pathologies and improving the performance and durability of buildings.
Keywords: Cracks; Window frames; Lintels and sill beams; Non-structural masonry; Pathologie.

1. INTRODUÇÃO

Apesar dos avanços da engenharia civil, manifestações patológicas ainda são recorrentes nas edificações, podendo comprometer a funcionalidade, a confiabilidade e a vida útil das estruturas. Entre essas ocorrências, as fissuras destacam-se por envolver aspectos estruturais, funcionais e arquitetônicos, além de comprometerem a estanqueidade, o conforto e a confiabilidade das edificações (THOMAZ, 2020).

De acordo com levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE), que analisou 114 edificações com até 30 anos de uso, 93% apresentavam algum tipo de manifestação patológica. Entre essas ocorrências, as fissuras representaram 77% dos casos, afetando principalmente as alvenarias de vedação e as fachadas externas (SOUZA; SANTOS; BARBOSA, 2023).

Entre os diferentes padrões de fissuração observados nas edificações, destacam-se as fissuras diagonais localizadas nos cantos de vãos de esquadrias. Esse tipo de manifestação está associado à concentração de tensões nessas regiões, frequentemente relacionada à ausência ou execução inadequada de elementos de alívio de carga, como vergas e contravergas, responsáveis pela redistribuição dos esforços na alvenaria (LORDSLEEM JUNIOR, 2001).

No município de Criciúma (SC), a proximidade com o litoral e o relevo associado ao sopé da Serra Geral favorecem a retenção de massas de ar úmido, resultando em elevados índices de precipitação e chuvas dirigidas, que podem intensificar processos de deterioração nas fachadas (HEERDT, 2012). No que se refere às ações do vento, a NBR 15575-4 (ABNT, 2021), estabelece que sua intensidade varia conforme a altura e a localização da edificação. Criciúma enquadra-se na categoria IV, correspondente a pressões de até 40 Pa, uma das maiores pressões registradas no país.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo investigar e analisar as principais causas do surgimento de fissuras diagonais em vãos de esquadrias em edificações com estrutura de concreto armado e sistema de vedação em alvenaria de blocos cerâmicos, no município de Criciúma, contribuindo para a compreensão deste fenômeno patológico e para o aprimoramento das práticas de projeto e execução na construção civil.

2. MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em parceria com uma construtora da região, a partir de uma demanda recorrente. A colaboração ocorreu com a disponibilização do seu banco de dados composto por projetos e registros de ocorrências técnicas, utilizado como base para a investigação, considerando-se apenas empreendimentos com até cinco anos de uso. A partir dessa análise prévia, foi selecionado o objeto de estudo desta pesquisa: um condomínio multifamiliar localizado em Criciúma-SC, composto por quatro torres residenciais, finalizado em 2022. As torres 1 e 2 possuem 7 pavimentos tipo, sendo 7 apartamentos por pavimento. Já as torres 3 e 4 possuem 8 pavimentos tipo com 5 apartamentos cada, configurando um conjunto habitacional de grande porte.

O empreendimento foi selecionado dentre aqueles que apresentaram maior número de chamados relacionados a fissuras, tornando-se relevante para a investigação proposta. A Figura 1 apresenta o empreendimento, com destaque para a Torre 2, selecionada para a investigação técnico-científica deste estudo. Esta escolha se deu pela facilidade de acesso às quatro fachadas e para a coleta de dados, bem como o posicionamento direto às quatro orientações principais.

Realizou-se uma revisão bibliográfica aprofundada para fundamentar teoricamente o estudo, contemplando patologias em esquadrias, fissuras em alvenarias, critérios de dimensionamento e execução de vergas e contravergas, compatibilização entre projetos e métodos de investigação de manifestações patológicas.

Figura 1 – Planta baixa do conjunto habitacional multifamiliar estudado



Fonte: os autores.

O levantamento inicial foi realizado a partir do banco de dados da construtora, gerenciado pelo software MOBUSS Construção, que registra chamados técnicos desde a entrega dos empreendimentos. Entre janeiro de 2023 e outubro de 2025 foram analisados 35 empreendimentos e 5.350 solicitações, das quais cerca de 36% estavam relacionadas a fissuras. Paralelamente, foram analisados os projetos arquitetônicos e estruturais, incluindo plantas, cortes, fachadas e detalhamentos de vergas e contravergas, visando identificar parâmetros projetuais associados às manifestações observadas.

A inspeção visual in loco foi realizada com câmera fotográfica CANON 70D (zoom ótico até 105x) e drone DJI Mavic Air 2, permitindo identificar fissuras. A partir dessa etapa, selecionaram-se esquadrias com fissuras diagonais, analisadas quanto ao processo construtivo e execução, materiais empregados, presença e dimensões de vergas e contravergas, transpasse dos elementos e diâmetro das barras. Complementarmente, além dos registros fotográficos e detalhamentos fornecidos pela construtora, realizaram-se verificações em campo com profoscópio Proceq, equipamento de indução eletromagnética utilizado para detecção e posicionamento de armaduras embutidas sem intervenções destrutivas.

Os dados coletados foram organizados em planilhas e analisados estatisticamente para identificar padrões e correlações entre os fatores avaliados e a ocorrência de fissuras. Ao final, atribuiu-se qualitativamente um grau de criticidade a cada critério, combinando a influência indicada pela literatura com a quantidade de ocorrências observadas nas esquadrias analisadas. O Quadro 1 sistematiza os principais fatores analisados, permitindo padronizar a coleta das informações e orientar a avaliação de criticidade. Essa organização facilita a comparação entre os critérios e a interpretação dos resultados obtidos.

Quadro 1 – Organização de critérios para identificação de fissuras na edificação

Critério	Descrição do critério	Procedimento de análise
Projetos	Informações de projeto referentes aos vãos e aos detalhamentos previstos.	– Análise dos projetos;
Dimensões	Verificação da altura e comprimento das vergas e contravergas	– Análise dos projetos; – Equipamento não destrutivo.
Armadura	Características das armaduras das vergas e contravergas.	– Comparação com projetos e normas; – Equipamento não destrutivo.
Posicionamento da Esquadria	Posicionamento da esquadria em relação aos elementos.	– Análise dos projetos; – Análise de registros fotográficos.
Mão de obra	Qualidade da execução na produção e assentamento de vergas e contravergas.	– Inspeção visual in loco; – Análise de registros fotográficos; – Verificação de conformidade.
Materiais	Qualidade e especificações dos materiais utilizados.	– Entrevista com responsáveis; – Inspeção visual;
Orientação Solar	Exposição ambiental (norte, sul, leste e oeste).	– Mapeamento das fachadas; – Correlação com dados climáticos locais e padrões de fissuras por orientação.
Pavimentos	Carga dos pavimentos superiores e proximidade da cobertura.	– Análise de projetos e inspeção visual.

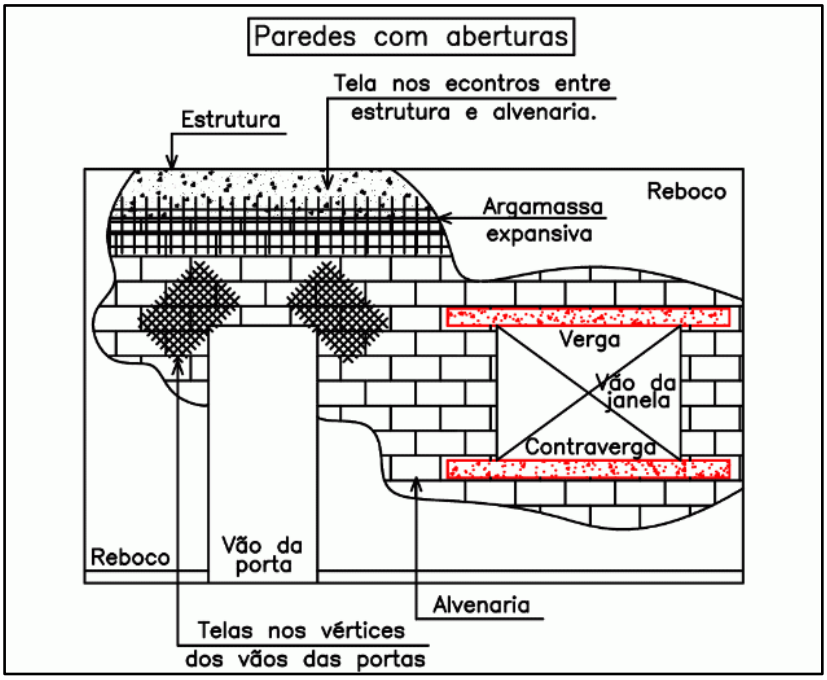
Fonte: os autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Projetos

A análise dos projetos iniciou com a verificação dos detalhamentos arquitetônicos, nos quais foi possível identificar as orientações para execução de vergas e contravergas em todas as esquadrias. Esse requisito encontra-se representado nos desenhos de projeto, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Detalhamento em projeto fornecido para execução das esquadrias



Fonte: construtora.

Observou-se que os projetos apresentavam informações insuficientes para a correta execução, sem detalhamento de armaduras, transpasse lateral, cobrimento e dimensões mínimas. Essa limitação contraria a NBR 8545 (ABNT, 1984), que exige vergas e contravergas em aberturas de alvenarias sem função estrutural, com altura mínima de 10 cm e transpasse lateral mínimo de 20 cm, prevendo ainda o dimensionamento da verga como viga em vãos superiores a 2,40 m.

3.2 Dimensões

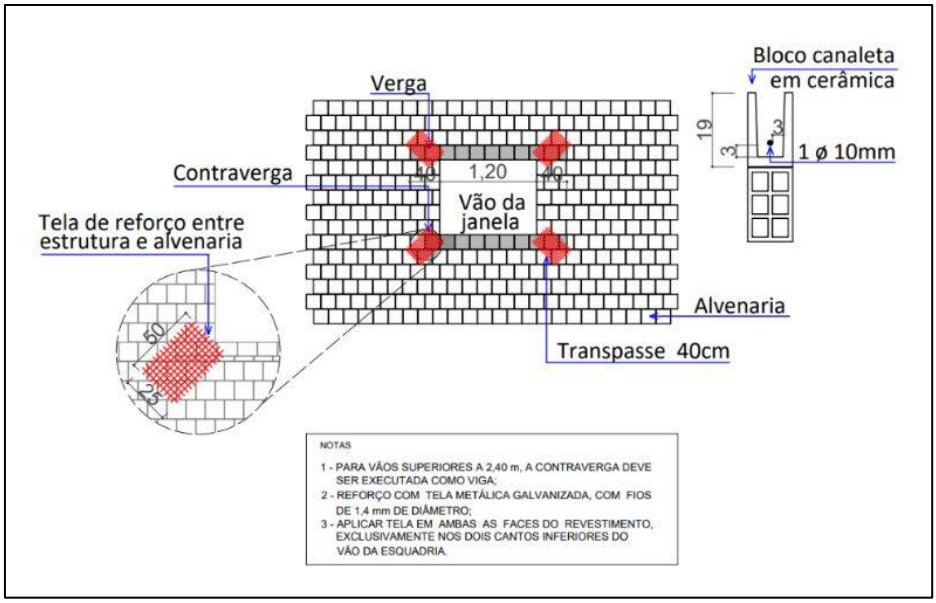
Observou-se que a edificação apresentava contravergas executadas com blocos canaleta cerâmicos estendidas até os pilares laterais, porém sem a execução de vergas, diferindo do detalhamento previsto em projeto. Embora essa solução possa contribuir para a redistribuição de tensões, a altura executada foi inferior ao mínimo de 10 cm recomendado pela NBR 8545 (ABNT, 1984), resultando em uma contraverga com 8 cm de altura. Segundo Thomaz (2020), a presença de vãos provoca concentração de tensões na alvenaria, podendo atingir até quatro vezes a tensão média do painel.

Sampaio (2010) demonstrou, em edificações de alvenaria estrutural, que vergas e contravergas reduzem as tensões de tração nos cantos das aberturas e favorecem a redistribuição dos esforços, embora não eliminem totalmente o risco de fissuração, comportamento também aplicável, de forma análoga, a sistemas de alvenaria de vedação. Com base nestas considerações, recomenda-se a utilização de blocos canaleta cerâmicos de vedação com resistência característica à compressão igual ou superior a 4,0 MPa, em conformidade com os requisitos da norma NBR 15270-1 (ABNT, 2023). Além disso, recomenda-se altura mínima de 14 cm e transpasse lateral de, no mínimo, 40 cm ou cerca de 30% da largura do vão em aberturas maiores, valor superior ao mínimo de 20 cm indicado pela NBR 8545 (ABNT, 19840). Quando a modulação da obra utiliza tijolos de 19 cm, adota-se o bloco canaleta de mesma altura, evitando cortes e pontos de fragilidade e assegurando acomodação adequada das armaduras.

3.3 Armadura

A inspeção com profoscópio indicou contravergas executadas com duas barras de Ø6,3 mm, posicionadas a cerca de 5 cm da face interna da parede, sem possibilidade de verificar profundidade, continuidade ou ancoragem. Silva e Oliveira (2019), observaram melhor desempenho para barras de Ø10 mm, razão pela qual se recomenda, para esta edificação, o uso de barra CA-50 Ø10 mm em camada simples, com cobrimento mínimo de 3 cm. A Figura 3 apresenta a proposta de detalhamento construtivo sugerida.

Figura 3 – Proposta de detalhamento construtivo de verga e contraverga



Fonte: os autores.

Como medida complementar, recomenda-se o uso de telas metálicas galvanizadas junto ao revestimento nas regiões próximas às esquadrias, contribuindo para a redistribuição das tensões (COELHO et al., 2023). Conforme a NBR 13755 (ABNT, 2017), essas telas devem ter fios com diâmetro mínimo de 1,24 mm, malha mínima de 25 mm e largura mínima de 50 cm, posicionadas aproximadamente na meia espessura da primeira camada de revestimento.

3.4 Posicionamento da esquadria

A análise do posicionamento das esquadrias na fachada, com base nos projetos e registros fotográficos da construtora, indicou que as vigas superiores atuam simultaneamente como apoio das esquadrias e como vergas, não havendo elementos independentes entre o vão e a viga. As esquadrias, em perfis de alumínio com contramarco chumbado, apresentam posicionamento padronizado em todas as fachadas ao longo dos pavimentos, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Detalhes construtivos das esquadrias no empreendimento

a) Posição da esquadria



b) Instalação do contramarco



Fonte: os autores.

De acordo com Hibbeler (2010), a rigidez e as descontinuidades geométricas, influenciam a concentração de tensões em elementos estruturais. Como o módulo de elasticidade do alumínio é superior ao do concreto, essa interface tende a favorecer fissuras diagonais nos cantos dos vãos (CALLISTER, 2016). Embora não tenham sido observadas deformações nas esquadrias, tensões podem se concentrar no final do transpasse da contraverga, favorecendo a fissuração.

3.5 Mão de obra

A análise da mão de obra ficou limitada aos relatos dos profissionais, pois não houve acesso à cartilha de procedimentos executivos da obra. Com isso, não foi possível verificar etapas como assentamento da alvenaria, execução de vergas e contravergas e chumbamento das esquadrias, restando apenas registros fotográficos e observações em campo. Segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2021), o desempenho dos sistemas de vedação depende da qualidade da execução, de modo que a ausência de documentação formal pode ter contribuído para as variações construtivas e para o surgimento das fissuras diagonais.

3.6 Materiais

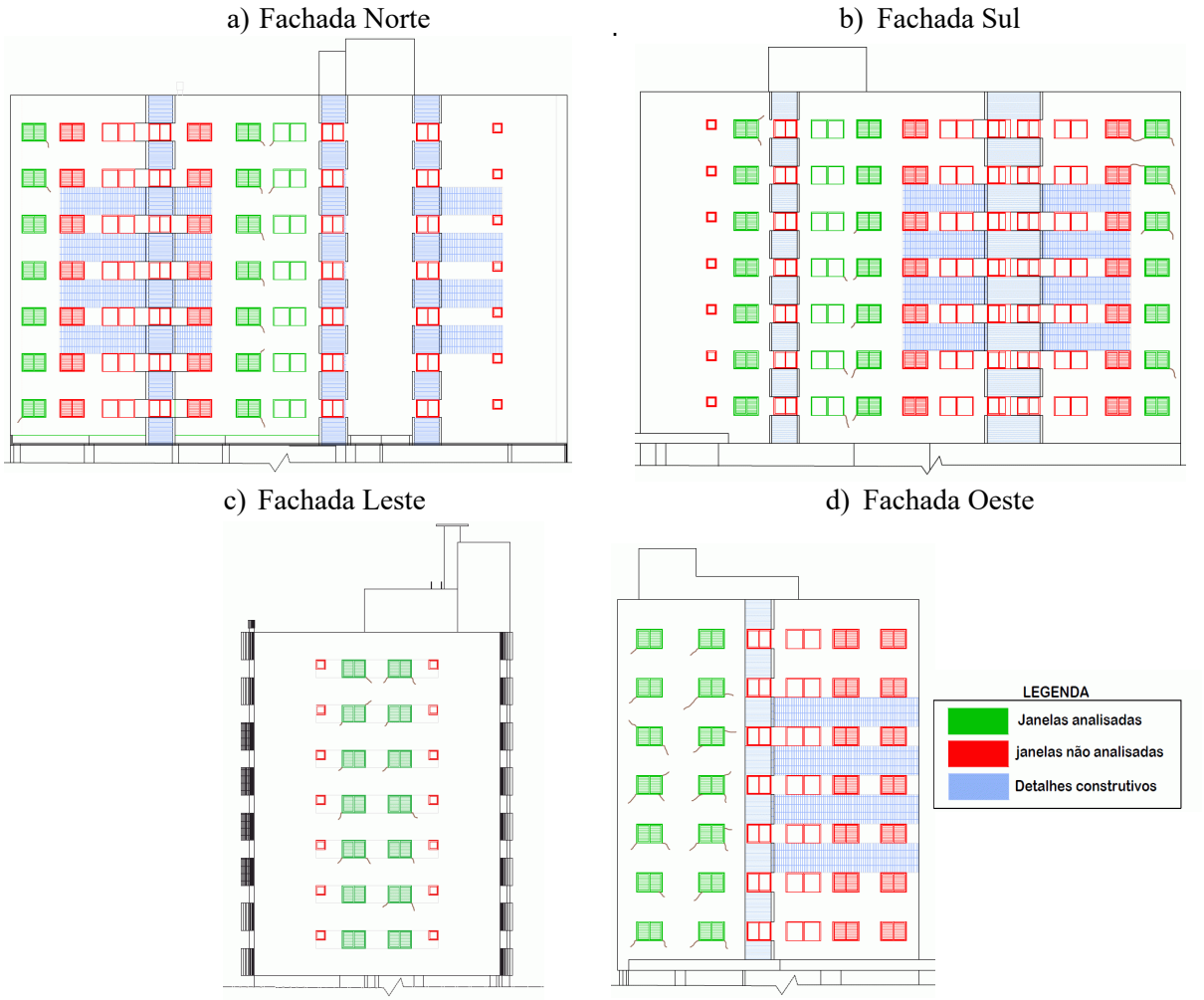
No que se refere aos materiais empregados, verificou-se que o assentamento da alvenaria e os revestimentos foram executados com argamassa de hidratação controlada (estabilizada), conforme relatado pelos profissionais da obra. Quanto às contravergas, não foi possível identificar as características do concreto utilizado, impossibilitando verificar sua conformidade com os requisitos de resistência e desempenho. A NBR 13281 (ABNT, 2023) estabelece que as argamassas de revestimento devem atender aos critérios de resistência, aderência e trabalhabilidade, contribuindo para o desempenho das paredes e para a prevenção de fissuras.

Morgerot (2024), ao analisar 23 empreendimentos na mesma região, verificou que fachadas executadas com argamassa de hidratação controlada apresentaram maior incidência de fissuração. Esse comportamento pode estar associado à retração do material, influenciada pela perda de água de amassamento e por variações térmicas e higroscópicas, o que pode ter contribuído para o surgimento das fissuras diagonais nas regiões de esquadrias (Thomaz, 2020).

3.7 Orientação solar

Para o mapeamento das fissuras nas regiões de esquadrias, foram elaborados croquis das fachadas do edifício com base em observações in loco e registros fotográficos. Em função de limitações de acesso associadas às diferenças de acabamento entre as fachadas, especialmente a presença de revestimentos cerâmicos em determinados trechos, a amostragem foi definida de forma não uniforme entre os pavimentos. Foram analisadas quatro janelas por pavimento na fachada sul, três na fachada norte e duas nas fachadas leste e oeste, desconsiderando-se as aberturas de banheiros (Figura 5), totalizando 77 janelas.

Figura 5 – Croqui das fachadas com indicação das janelas analisadas



Fonte: os autores.

Conforme os critérios definidos pelo IBAPE (2014), aberturas de até 0,5 mm são classificadas como fissuras. Nas fachadas, a abertura foi medida com o uso de uma régua graduada dotada de escalas milimétricas (fissurômetro), instrumento adequado para determinar com precisão a largura das manifestações. As medições registraram valores entre 0,2 mm e 0,3 mm, o que confirma tratar-se de fissuras segundo a classificação estabelecida pelo instituto, conforme mostra a Figura 6.

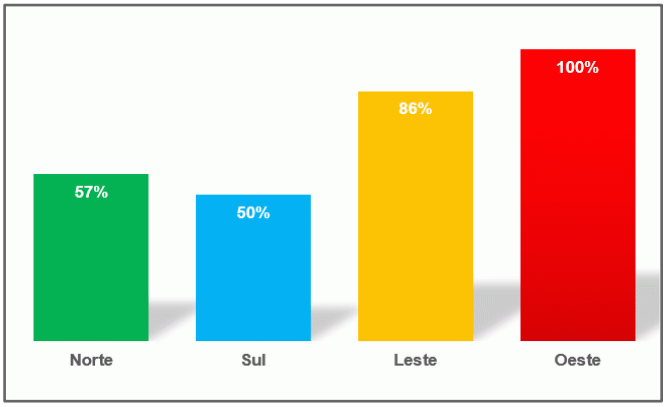
Figura 6 – Padrão de abertura das fissuras observadas



Fonte: os autores.

Como forma de analisar os dados, realizou-se a quantificação das janelas inspecionadas em cada fachada e das fissuras diagonais associadas às esquadrias. Os resultados foram convertidos em percentuais (Figura 7), permitindo comparar as quatro orientações do edifício e identificar as regiões com maior incidência de manifestações.

Figura 7 – Percentual de janelas fissuradas por orientação da fachada

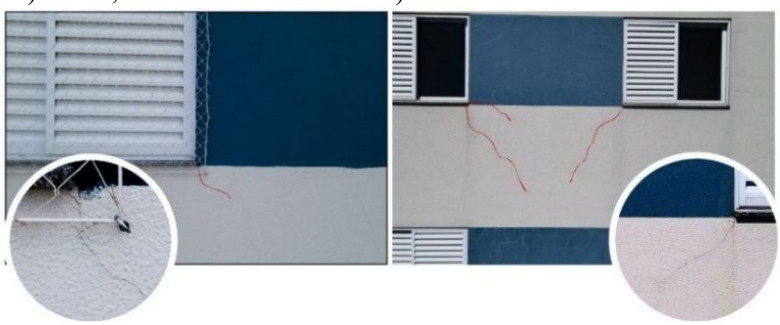


Fonte: os autores.

Observou-se que a fachada oeste concentrou o maior número de ocorrências, apresentando fissuras em 100% das janelas analisadas, seguida pelas fachadas leste (86%), norte (57%) e sul (50%). Esses resultados indicam diferenças no comportamento das alvenarias conforme a orientação da edificação, sendo a fachada sul a que apresentou menor incidência de manifestações. Além disso, verificou-se que todas as fachadas apresentaram fissuras diagonais em pelo menos metade das esquadrias analisadas. Destaca-se ainda que a fachada oeste apresentou padrão de fissuração mais intenso e uniforme, com fissuras mais extensas e distribuídas ao longo da superfície, enquanto nas demais orientações o comportamento foi mais irregular (Figura 8).

Figura 8 – Padrão de fissuração observado nas fachadas analisadas

a) Norte, sul e leste b) Oeste



Fonte: os autores.

A distribuição das fissuras pode estar associada à radiação solar, à chuva dirigida e às variações térmicas e higroscópicas. Embora estudos indiquem maior degradação em fachadas oeste e norte devido à maior incidência solar (SILVA, 2014), a intensidade desses efeitos varia conforme as condições climáticas regionais. No sul de Santa Catarina, caracterizado por elevada umidade e significativa incidência de chuvas com ação do vento (INMET, 2025), a combinação entre insolação e umidade pode potencializar a degradação das fachadas mais expostas. A análise de mapas climáticos (isopletas de radiação e precipitação) pode reforçar essa tendência, evidenciando a influência da orientação das fachadas no desempenho dos sistemas de vedação. Além disso, reparos recentes de pintura podem ter encoberto parte das manifestações, embora tenha sido observada reabertura de fissuras em algumas áreas, indicando a recorrência do problema mesmo após intervenções paliativas.

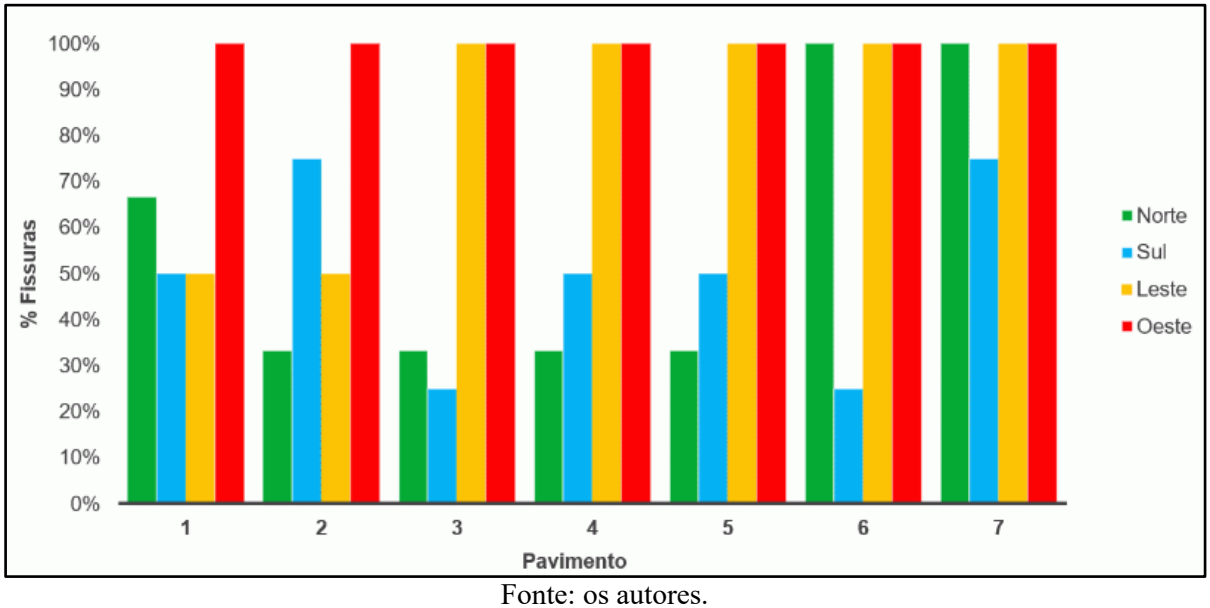
Destaca-se que a fachada norte apresenta sombreamento parcial por edificações vizinhas, reduzindo a insolação e as variações térmicas. Por outro lado, a menor incidência observada na fachada sul pode ser explicada pela menor insolação, que tende a favorecer patologia de umidade e não fissuração (GIONGO; PADARATZ; LAMBERTS, 2011). Segundo Thomaz (2020), deformações higrotérmicas restritas geram tensões internas capazes de originar fissuras, o que ajuda a explicar a maior incidência observada na fachada oeste.

Estudos desenvolvidos em outros sistemas construtivos, como as paredes de concreto moldadas in loco, também evidenciam a ocorrência de fissuração associada a restrições de deformação, variações térmicas e comportamento dos materiais ao longo do tempo. Conforme apresentado por Dantas (2024), mesmo em sistemas monolíticos, a interação entre elementos estruturais e condições de exposição pode resultar em manifestações patológicas semelhantes às observadas em sistemas de vedação em alvenaria. Essa comparação reforça que a fissuração em regiões de esquadrias não está associada a um único sistema construtivo, mas sim a um conjunto de fatores relacionados ao desempenho da edificação, incluindo fatores de projeto, execução e comportamento dos materiais.

3.8 Pavimentos

Após a análise comparativa entre as fachadas, analisou-se de forma complementar a distribuição das fissuras por pavimento, a fim de identificar se há influências como sobrecarga do peso próprio da edificação ou proximidade dos extremos (laje/térreo), para os diferentes andares e a maior concentração de ocorrências. O Gráfico 1 apresenta o percentual de janelas fissuradas por pavimento e fachada.

Gráfico 1 – Janelas fissuradas por pavimento



Fonte: os autores.

Observou-se que os pavimentos 6 e 7 apresentaram os maiores índices de fissuração na maioria das fachadas, indicando maior vulnerabilidade desses níveis às variações térmicas e às deformações diferenciais. Esse comportamento pode estar associado à maior exposição à radiação solar e à maior amplitude térmica nos pavimentos superiores, especialmente nas regiões próximas à cobertura. Além disso, a retração diferenciada entre a argamassa e os blocos cerâmicos, potencializada pelas variações térmicas, pode ter contribuído para o surgimento das fissuras nessas áreas. Por outro lado, os menores índices observados nos pavimentos inferiores indicam que a sobrecarga do peso próprio da estrutura não se mostrou determinante para o aparecimento das fissuras, enquanto a proximidade da cobertura parece exercer maior influência.

3.9 Classificação qualitativa de criticidade

O grau de criticidade dos critérios avaliados foi definido a partir da combinação entre o nível de influência apontado pela literatura para o mecanismo de fissuração diagonal e a quantidade de ocorrências observadas nas esquadrias analisadas. O Quadro 2 apresenta uma síntese dessa avaliação, reunindo cada critério, sua justificativa e o respectivo nível de criticidade.

Quadro 2 – Classificação do grau de criticidade dos critérios analisados

Critério	Justificativa técnica (fundamentação no estudo)	Grau de criticidade
Projetos	- Divergente ao executado; - Falta de informação gera variação construtiva; - Atua indiretamente no mecanismo de fissuração.	MÉDIO
Dimensões	- O transpasse atende ao mínimo por alcançar o pilar; - A altura não atende ao mínimo recomendado pela norma; - Influência significativa no comportamento da fissura.	ALTO
Armadura	- As barras são de 6,3 mm, com rigidez limitada; - Não há detalhamento de cobrimento nem posição; - Armadura insuficiente aumenta tensões nos vértices.	ALTO
Posicionamento da esquadria	- A solução construtiva é igual em todas as esquadrias; -Influência parcial pois nem todas apresentaram fissura; - A interface contribui, mas não determina o mecanismo.	MÉDIO
Mão de obra	A ausência de evidências impede concluir sua influência real, mas pode ter contribuído para variações construtivas.	MÉDIO
Materiais	- A argamassa estabilizada; Maior fissuração em fachadas (MORGEROT, 2024); - Contribui como fator importante no surgimento das fissuras.	ALTO
Orientação solar	- A fachada oeste apresentou fissuras em todas as janelas. - Maior radiação gera altas variações térmicas e deformações; - Resultado coerente com estudos (SILVA, 2014).	ALTO
Pavimentos	Sem influência de sobrecarga, porém com maior suscetibilidade nos pavimentos superiores devido às variações térmicas	ALTO

Fonte: os autores.

Observou-se que os critérios relacionados às características da contraverga, aos materiais empregados e à disposição dos pavimentos apresentaram alta criticidade, por estarem diretamente associados à concentração de tensões e às condições de exposição das fachadas. Destaca-se também a orientação solar, especialmente na fachada oeste, onde todas as janelas avaliadas apresentaram fissuras. Os critérios classificados como média criticidade, como projetos, posicionamento das esquadrias e mão de obra, demonstraram influência parcial no mecanismo fissuratório. Não foram identificados critérios de baixa criticidade, indicando que todos os parâmetros analisados exercem algum nível de influência no surgimento das fissuras.

4. CONCLUSÃO

Com base nas análises realizadas, conclui-se que o surgimento das fissuras diagonais em regiões de esquadrias está associado à atuação conjunta de fatores construtivos e ambientais ao longo da vida útil da edificação. A avaliação dos critérios considerados indicou maior influência das características das contravergas, da orientação das fachadas, do tipo de argamassa utilizada no assentamento da alvenaria e da disposição dos pavimentos. No caso das contravergas, a criticidade esteve relacionada principalmente à altura inferior à recomendada em norma e às características da armadura, enquanto o comprimento de transpasse não se mostrou determinante para o comportamento observado. Verificou-se ainda que as fachadas mais expostas à radiação solar, especialmente a oeste, apresentaram maior incidência de fissuras, evidenciando a influência das variações térmicas e das deformações diferenciais entre estrutura e vedação. A análise por pavimento também indicou maior concentração de ocorrências nas regiões próximas à cobertura, reforçando a influência das condições ambientais no mecanismo de fissuração.

A partir das análises realizadas neste estudo de caso, propôs-se um detalhamento construtivo para as regiões de aberturas, com o objetivo de reduzir a concentração de tensões e minimizar o surgimento de fissuras diagonais. A solução contempla a execução de contravergas em bloco canaleta com altura mínima de 14 cm, armadura longitudinal com barras de aço de 10 mm e comprimento de transpasse adequado entre pilares, associadas à aplicação de telas metálicas nos cantos das esquadrias incorporadas ao revestimento.

Dessa forma, os resultados obtidos e as discussões fornecidas contribuem para a compreensão do comportamento das fissuras em vãos de esquadrias e para a prevenção de patologia e melhoria do desempenho e da durabilidade das edificações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281:2023 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** – Requisitos. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1:2023 **– Componentes cerâmicos: Blocos e tijolos para alvenaria** – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4:2021 – Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4**: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas** – SVVIE. Rio de Janeiro, 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8545:1984 – **Execução alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13755:2017 – **Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2017.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

COELHO, G. F.; REIS, A. H. A.; SCHERER, P. C.; DORNELLES, K. A. M. **Mesh reinforcement in masonry mortar coatings: a systematic review of the effects of mesh reinforcement in cementitious mortar coatings and its major applications**. Revista Cerâmica, São Paulo, v. 69, e20231033, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0366- 69132023693893377.

GIONGO, Michele; PADARATZ, Ivo José; LAMBERTS, Roberto**. Determinação da exposição**

à chuva dirigida em Florianópolis, SC: índices de chuva dirigida e métodos semiempíricos. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 7–23, jan./mar. 2011. SciELO Brasil - Determinação da exposição à chuva dirigida em Florianópolis, SC: índices de chuva dirigida e métodos semi-empíricos

HEERDT, Alexandre**. Chuva dirigida em fachadas de edificações: avaliação da incidência e das técnicas de proteção**. Florianópolis: UFSC, 2012.

HIBBELER, R. C**. Resistência dos Materiais**. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE MINAS

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP. Brasília: INMET. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/ Acesso em: 2026.

GERAIS. Norma de vistoria cautelar. Belo Horizonte: 2014. Disponível em: https://www.ibapemg.com.br/2018/wp-content/uploads/ibape-mg-norma-cautelar.pdf

LORDSLEEM JUNIOR, Américo**. Construção em alvenaria de blocos cerâmicos: recomendações práticas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2001.

MORGEROT, Lavínia Favaro**. Estudo das propriedades de argamassas estabilizadas utilizadas em fachadas de edifícios.** Criciúma: Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, 2024. Disponível em: https://UNESC: Estudo das propriedades de argamassas estabiizadas utilizadas em fachadas de edifícios.

SAMPAIO, M. B. **Fissuras em Edifícios Residenciais em Alvenaria Estrutural.** Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.Carlos, 2010.

SOUZA, L. M.; SANTOS, J. R.; BARBOSA, F. L. R**. Análises de manifestações patológicas encontradas em edificações com até 30 anos.** São Paulo: IBAPE Nacional, 2023. Disponível em: https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2023/12/ANALISES-DE-MANIFESTACOES-PATOLOGICAS-ENCONTRADAS-EM-EDIFICACOES-COM-ATE-30-ANOS.pdf

SILVA, A. R.; OLIVEIRA, A. D. W. de**. Estudo comportamental de vergas à tração.** Bragança Paulista: Universidade São Francisco, 2019. Disponível em: https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3299.

SILVA, Maria de Nazaré Batista da**. Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada: aplicação ao caso de Brasília/DF**. 2014. 268 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/17768. Acesso em: 6 nov. 2025.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. 34 p. Disponível em: https://s3-sa east-1.amazonaws.com/ofitexto.arquivos/degustacao/trincas-em edificios-2ed_deg.pdf.

DANTAS, Jéssica Andrade. **Análise de desempenho de sistemas construtivos em parede de concreto.** 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3153/tde-20082024-105130/publico/JessicaAndradeDantasCorr24.pdf. Acesso em: 19 abr. 2026.

CAPÍTULO 85 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/f6s1e991
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/qfrkgr68

IDENTIFICAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS PRÉDIOS DO CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS DA UFSM

Maico Rodrigo Silva Dos Santos[1]*, Daniel Mânica[2]; Marcos Roberto da Silva[3];
*Autor de contato: maico.edfisica@gmail.com

[1] Núcleo de Infraestrutura do Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria -RS, Brasil
[2] Núcleo de Gestão Orçamentária do Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria -RS, Brasil
[3] Subdivisão de Patrimônio do Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria -RS, Brasil

RESUMO
O presente estudo teve como objetivo identificar as manifestações patológicas nas construções mais recorrentes nos prédios do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria. A pesquisa possui abordagem qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, sendo desenvolvida por meio de pesquisa bibliográfica. A fundamentação teórica abordou conceitos relacionados à patologia das construções, os principais tipos de manifestações patológicas e as formas de intervenção utilizadas no tratamento dessas anomalias. Os resultados indicaram que as manifestações patológicas mais frequentes estão associadas, a ação da umidade, às condições ambientais e a possíveis falhas de execução ou manutenção dos sistemas construtivos favorecendo o surgimento de fissuras, mofos, bolores e desplacamento de revestimentos. Conclui-se que a realização de inspeções periódicas e diagnósticos técnicos detalhados é essencial para identificar às causas dessas manifestações e orientar a adoção de medidas preventivas e corretivas adequadas.
Palavras-chave: Manifestações patológicas nas construções; Ação da umidade; Fissuras; Mofos, bolores e desplacamento.

ABSTRACT
This study aimed to identify the most recurrent pathological manifestations in the buildings of the Rural Sciences Center at the Federal University of Santa Maria. The research employs a qualitative, exploratory, and descriptive approach, developed through bibliographic research. The theoretical framework addressed concepts related to building pathology, the main types of pathological manifestations, and the forms of intervention used in treating these anomalies. The results indicated that the most frequent pathological manifestations are associated with the action of humidity, environmental conditions, and possible failures in the execution or maintenance of construction systems, favoring the appearance of cracks, mold, mildew, and detachment of coatings. It is concluded that conducting periodic inspections and detailed technical diagnoses is essential to identify the causes of these manifestations and guide the adoption of appropriate preventive and corrective measures.
Keywords: Pathological manifestations in buildings; Moisture action; Cracks; Mold, mildew and delamination.

1. INTRODUÇÃO

As construções possuem a sua vida útil associada a durabilidade, a qual pode ser compreendida como a capacidade da construção e de seus sistemas de manterem seu desempenho funcional ao

longo do tempo, mesmo quando submetidos às condições de uso e ações ambientais. Nesse sentido, o estudo da patologia das edificações tem ganhado destaque no campo da engenharia, constituindo-se como uma área dedicada à análise sistemática das anomalias, falhas e defeitos que podem ocorrer nos materiais, componentes e sistemas que integram uma construção.

Uma série de fatores podem favorecer o aparecimento de manifestações patológicas nas construções, desencadeando processos de deterioração que podem afetar o desempenho, a vida útil e, em determinadas situações, a segurança das estruturas. Conforme Helene (2003), os problemas patológicos nas edificações costumam apresentar manifestações externas características que permitem identificar indícios sobre sua natureza, origem e os mecanismos responsáveis por sua ocorrência, possibilitando também estimar as possíveis consequências associadas ao fenômeno. Tais manifestações, frequentemente denominadas lesões, defeitos ou manifestações patológicas, podem ser descritas e classificadas a partir de observações visuais, servindo como base para um diagnóstico preliminar.

Nesse contexto, evidencia-se a relevância de estudos voltados à identificação dessas manifestações patológicas, considerando que contribuem para o aprimoramento das práticas de inspeção, manutenção e conservação das edificações, favorecendo uma gestão mais eficiente do desempenho e da durabilidade das construções. Assim, diante dessas considerações, o principal objetivo é identificar as manifestações patológicas mais recorrentes nas estruturas de concreto armado dos prédios do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, inicialmente são abordados os conceitos relacionados à patologia das construções e seus principais tipos. Em seguida, são discutidas as intervenções empregadas no tratamento das manifestações patológicas, bem como apresentados e analisados os resultados obtidos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. 1 Conceituação da patologia nas construções

De acordo com Carmo (2000), a patologia nas construções pode ser entendida, de forma análoga à Ciência Médica, como o campo da engenharia dedicado ao estudo dos sintomas, das manifestações e dos mecanismos que originam as anomalias ou defeitos presentes nas edificações, buscando identificar as suas origens e compreender as dinâmicas que levam à degradação dos sistemas construtivos no decorrer do tempo.

Conforme Medeiros, Lemes e Melges (2011), a patologia corresponde ao campo da ciência dedicado ao estudo das alterações morfológicas e fisiológicas relacionadas aos estados de saúde. Quando tais alterações deixam de ser compensadas pelo organismo, caracteriza-se a presença de doença. O termo “patologia” deriva do grego, sendo composto por páthos, que significa doença, e logos, que remete a estudo ou conhecimento. No âmbito da construção civil, o conceito de patologia é utilizado para designar falhas ou anomalias presentes nas estruturas das edificações, as quais podem surgir por diferentes fatores e comprometer aspectos como segurança, funcionalidade e durabilidade das construções.

Dal Molin e Andrade (2014) salientam que a patologia nas construções podem ser compreendidas como falhas ou defeitos que surgem em decorrência de equívocos de projeto, execução inadequada das obras ou ainda da utilização de materiais que não apresentam os níveis necessários de qualidade e durabilidade. Para Franco e Pereira (2019), no momento que essas patologias não são identificadas e tratadas de forma adequada, tendem a gerar elevados custos de manutenção e, em situações mais críticas, podem comprometer a segurança das estruturas da construção, representando riscos à integridade física de seus ocupantes.

Conforme Souza (2012), as manifestações patológicas em edificações referem-se a falhas ou irregularidades que surgem nos diferentes elementos que compõem a estrutura. Em geral, essas ocorrências estão associadas ao uso inadequado de mão de obra ou à aplicação de materiais que não apresentam qualidade satisfatória. Tais problemas podem manifestar-se de diversas maneiras,

incluindo o aparecimento de fissuras e rachaduras nas superfícies, a ocorrência de infiltrações e até mesmo o destacamento de revestimentos e pisos, situações que acabam comprometendo o desempenho e a durabilidade da edificação.

Assim para Silva (2012) a patologia nas construções pode ser compreendida como o campo de estudo dedicado à análise dos defeitos e anomalias que podem ocorrer nos materiais e nos sistemas construtivos das edificações, essa área busca identificar e diagnosticar as causas e consequências dessas ocorrências, além de compreender os mecanismos responsáveis pelo surgimento e pela evolução dos processos patológicos nas construções. O autor ainda complementa afirmando que as manifestações patológicas nas construções correspondem a defeitos ou anomalias que podem comprometer o desempenho e a funcionalidade da construção em relação às finalidades para as quais foi projetada. De modo geral, essas ocorrências estão relacionadas a falhas no processo construtivo, ao emprego de materiais com desempenho insatisfatório ou ainda à utilização de mão de obra sem a qualificação adequada, fatores que contribuem para a ocorrência de problemas ao longo da vida útil da edificação.

2.2 Tipos de manifestações patológicas nas construções

As manifestações patológicas nas construções podem apresentar variações em função do tipo de obra, do sistema construtivo empregado e das condições ambientais da região onde a construção está inserida, entre outros fatores. De maneira geral, entre as ocorrências mais frequentes destacam-se as fissuras e os problemas relacionados à infiltração de água. Conforme Helene e Pereira (2007), as fissuras correspondem a aberturas ou descontinuidades que surgem nos componentes construtivos, podendo ser provocadas por diversos fatores, como retração dos materiais, variações térmicas, sobrecargas estruturais, movimentações da estrutura ou falhas de execução. Embora muitas fissuras apresentem inicialmente caráter apenas estético, sua presença pode indicar problemas mais significativos, sobretudo quando estão associadas a processos de deformação excessiva, recalques diferenciais ou deficiência no dimensionamento estrutural.

Segundo Ripper (1996), as infiltrações correspondem à entrada indesejada de água nos elementos que compõem a edificação, podendo manifestar-se em paredes, coberturas, lajes, fundações e sistemas de vedação. Esse tipo de patologia construtiva está, em geral, relacionado à inexistência ou ao mau funcionamento dos sistemas de impermeabilização, a falhas de execução, ao uso inadequado de materiais ou ainda a deficiências nos detalhes construtivos adotados. A presença contínua de umidade pode ocasionar diversos danos à edificação, como a deterioração de revestimentos, o desprendimento de pinturas e o surgimento de mofo e bolor, além de favorecer a degradação de elementos estruturais e não estruturais. Ademais, também podem ser observados processos como a corrosão das armaduras, a carbonatação do concreto, a desagregação de materiais, a formação de eflorescências e o destacamento de revestimentos, manifestações que tendem a comprometer o desempenho, a durabilidade e a segurança das estruturas.

Ripper (1996) destaca que corrosão das armaduras é considerada uma das manifestações patológicas mais relevantes em estruturas de concreto armado, estando frequentemente relacionada ao processo de deterioração gradual e à diminuição do desempenho das edificações. Esse fenômeno ocorre por meio de um processo eletroquímico no aço, que se inicia quando a proteção oferecida pelo concreto deixa de ser eficaz. Na presença de oxigênio, umidade e agentes agressivos, o aço passa por um processo de oxidação que resulta na formação de ferrugem. Como os produtos gerados pela corrosão apresentam volume superior ao do aço original, surgem tensões internas no concreto, provocando o aparecimento de fissuras, o destacamento do cobrimento e a redução da seção resistente das armaduras.

De acordo com Helene e Pereira (2007), a carbonatação do concreto corresponde a um processo químico no qual o dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera penetra pelos poros do material e reage com os compostos alcalinos da pasta de cimento, principalmente o hidróxido de cálcio. Como resultado dessa reação, ocorre a redução do pH do concreto, o que diminui sua alcalinidade. Quando essa redução se torna significativa, a camada passivadora responsável pela proteção do aço é comprometida, tornando as armaduras mais suscetíveis ao processo de corrosão.

Com relação a desagregação dos materiais Ripper (1996) salienta que se constitui em uma manifestação patológica caracterizada pela perda de coesão entre as partículas que compõem elementos como concreto, argamassas e revestimentos. Esse processo ocorre quando há deterioração progressiva da matriz do material, levando ao desprendimento de partículas e à redução da resistência mecânica da superfície. Entre os fatores que podem desencadear a desagregação destacam-se a ação de agentes químicos, ciclos de umedecimento e secagem, variações térmicas, ataques de sais agressivos e falhas no processo de dosagem ou execução dos materiais. Conforme o autor, a perda de integridade dos materiais compromete o desempenho e a durabilidade dos elementos construtivos, podendo evoluir para danos mais severos quando não há intervenção adequada.

Para Helene e Pereira (2007), a eflorescência é uma manifestação patológica associada à presença de sais solúveis nos materiais utilizados na construção. Esse fenômeno ocorre quando a água infiltra-se nos poros de elementos como concreto, argamassas ou alvenarias, dissolvendo os sais existentes em sua composição. Ao migrar para a superfície e evaporar, essa água promove a deposição desses sais cristalizados, originando manchas esbranquiçadas visíveis nos revestimentos. Embora, em muitos casos, a eflorescência seja considerada apenas um problema estético, sua presença pode indicar excesso de umidade nos componentes construtivos, condição que pode favorecer o aparecimento de outras patologias e contribuir para a degradação progressiva da edificação.

Segundo Thomaz (1989) o destacamento de revestimentos constitui uma das manifestações patológicas recorrentes nas edificações, caracterizando-se pela perda de aderência entre as camadas que compõem o sistema de revestimento e o substrato ao qual estão fixadas. Esse fenômeno pode ocorrer em revestimentos argamassados ou cerâmicos e está frequentemente associado a falhas de execução, ausência de preparo adequado da base, emprego de materiais inadequados, retrações diferenciais ou ainda à ação de variações térmicas e de umidade ao longo do tempo. O destacamento pode ocorrer de forma localizada ou generalizada e representa um problema relevante, pois além de comprometer o desempenho e a durabilidade do revestimento, pode gerar riscos à segurança dos usuários quando ocorre o desprendimento de partes do material

Com relação a presença de mofos e bolores Helene (1992) coloca que se constituem em uma manifestação patológica frequentemente associada a condições excessivas de umidade no ambiente construído. Esses microrganismos proliferam principalmente em superfícies onde há elevada umidade relativa do ar, ventilação insuficiente e incidência reduzida de luz solar, condições que favorecem o desenvolvimento de fungos em paredes, forros, revestimentos e outros elementos construtivos. Além de comprometerem o aspecto estético das superfícies, o mofo e o bolor podem indicar problemas relacionados à infiltração, condensação ou falhas na impermeabilização das edificações, podendo também afetar a qualidade do ambiente interno e a durabilidade dos materiais

Assim, para Helene e Bittencourt (2013) essas manifestações constituem indicadores importantes do estado de conservação das construções e devem ser analisadas de forma criteriosa para possibilitar o correto diagnóstico das causas e a definição das intervenções necessárias.

2.3 Intervenções no tratamento das manifestações patológicas

As intervenções corretivas no tratamento das manifestações patológicas em construções correspondem ao conjunto de procedimentos técnicos destinados à reparação, recuperação ou reforço de elementos construtivos que apresentam falhas ou processos de deterioração. Essas intervenções têm como objetivo restabelecer, total ou parcialmente, as condições de desempenho, segurança e durabilidade da construção, sendo definidas a partir do diagnóstico das causas e da análise do grau de comprometimento dos sistemas construtivos (SOUZA; RIPPER, 1998; HELENE, 2003).

No âmbito da patologia das construções, essas intervenções são realizadas após a identificação e o diagnóstico das anomalias presentes na edificação, sendo orientadas pela análise das causas e dos mecanismos que originaram as manifestações patológicas. Tais ações têm como finalidade principal restabelecer as condições adequadas de funcionamento, segurança, estabilidade e durabilidade dos sistemas construtivos, contribuindo para a manutenção do desempenho da edificação ao longo de sua vida útil. As intervenções corretivas em edificações devem estar fundamentadas em um diagnóstico técnico detalhado, uma vez que a simples eliminação dos sinais aparentes da patologia não assegura a solução definitiva do problema. Nesse sentido, torna-se essencial investigar e compreender os fatores que deram origem à patologia, que podem estar associados a falhas de projeto, inadequações durante a execução da obra, utilização de materiais impróprios ou à ausência de manutenção ao longo do tempo (HELENE, 1992).

Segundo Dal Molin (2014), as ações destinadas à recuperação de edificações devem ser definidas com base em uma avaliação detalhada das manifestações patológicas, levando em consideração tanto as causas que deram origem ao processo de degradação quanto os mecanismos responsáveis por sua progressão. Nesse contexto, as intervenções de recuperação não devem limitar-se apenas à reparação dos danos visíveis, mas também buscar eliminar ou controlar os agentes que desencadearam a patologia, a fim de restabelecer as condições adequadas de desempenho, segurança e durabilidade da edificação. Assim, a definição das técnicas de reparo, reforço ou proteção precisa estar vinculada a um processo organizado de inspeção, diagnóstico e planejamento das intervenções, contribuindo para maior eficácia das ações e para o aumento da vida útil dos sistemas construtivos.

3. METODOLOGIA

O presente artigo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, de natureza qualitativa, com abordagem exploratória e descritiva. Essa estratégia metodológica foi adotada com o objetivo de reunir, analisar e sistematizar conhecimentos já consolidados acerca das manifestações patológicas nas construções.

O levantamento bibliográfico concentrou-se em publicações científicas, dissertações, teses, normas técnicas e documentos institucionais, como bases de dados o Portal de Periódicos da CAPES e o Google Acadêmico, que abordassem:

- Conceitos da patologia nas construções;
- Tipos de manifestações patológicas nas construções;
- Intervenções no tratamento das manifestações patológicas nas construções.

Após esta etapa foram escolhidos quatro prédios públicos, conforme quadro 1, pertencentes ao Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, para identificação das manifestações patológicas mais recorrentes nas estruturas de concreto armado dos prédios, para posteriormente ser realizada uma análise dos resultados.

Quadro 1 – Prédios

Nome	Area (m²)
Prédio 42	8.165,32
Prédio 43 A	2.724,14
Prédio 43 B	1.804,39
Prédio 44	7.991,33

Fonte: o autor.

4. RESULTADOS

A vistoria realizada nos prédios 42 e 44 evidenciou diferenças entre as condições observadas na face externa e no interior das edificações. Na parte externa, não foram identificadas manifestações patológicas aparentes, indicando um bom estado de conservação dos elementos construtivos em ambos os edifícios. Esse resultado pode estar relacionado às reformas realizadas recentemente nos prédios, que possivelmente incluíram intervenções em revestimentos, pintura e sistemas de proteção das fachadas. Tais ações tendem a contribuir para a melhoria das condições de durabilidade e desempenho dos componentes construtivos, mesmo considerando que se tratam de edificações com aproximadamente 50 anos de uso.

Por outro lado, as inspeções realizadas no interior dos prédios 42 e 44 revelaram a presença de infiltrações, associadas ao surgimento de mofo e bolor nas superfícies internas, conforme ilustrado na Figuras 1. Esse tipo de manifestação patológica está diretamente relacionado à presença excessiva de umidade nos ambientes internos, condição que favorece o desenvolvimento de microrganismos e pode comprometer tanto o desempenho dos materiais quanto às condições de salubridade dos espaços.

Figura 1 - Infiltrações, mofo e bolor na face interna dos prédios 42 e 44



Fonte: o autor.

Nesse contexto, os resultados indicam que, apesar das melhorias observadas na parte externa, ainda persistem deficiências no sistema construtivo interno. Tais problemas podem estar associados a falhas nos serviços executados, à utilização inadequada de materiais ou a deficiências nos sistemas de impermeabilização, os quais não apresentaram desempenho satisfatório no controle da umidade. Dessa forma, torna-se necessário um diagnóstico mais aprofundado das causas dessas infiltrações, a fim de definir intervenções corretivas adequadas e garantir melhores condições de durabilidade e uso das edificações.

A vistoria técnica realizada no prédio 43 A permitiu identificar a ocorrência de algumas manifestações patológicas localizadas predominantemente na face externa da edificação. No decorrer da inspeção visual foram observadas fissuras no revestimento e a presença de mofos em determinadas áreas da fachada. Em contrapartida, nas áreas internas do prédio não foram constatadas manifestações patológicas aparentes, o que indica que, no momento da avaliação, os danos estão restritos principalmente às superfícies externas da construção.

As fissuras observadas na face externa do prédio 43 A, conforme a Figura 2, podem estar associadas a diferentes fatores, entre os quais se destacam as movimentações térmicas provocadas pelas variações de temperatura ao longo do dia, retrações dos materiais utilizados no revestimento ou

ainda pequenas deformações estruturais da edificação. Além disso, falhas de execução, como inadequada preparação da base, ausência ou deficiência de juntas de movimentação e o emprego de materiais incompatíveis, também podem estar contribuindo para a formação desse tipo de manifestação patológica.

Figura 2 - Fissuras e mofos na face externa - prédio 43 A



Fonte: o autor.

A presença de mofos nas superfícies externas do prédio 43 A, conforme a Figura 3, está diretamente associada à incidência de umidade e às condições ambientais que favorecem o desenvolvimento de microrganismos, sendo importante salientar que os prédios se localizam em uma região de Clima Subtropical, que tem como características a alta umidade relativa do ar, chuvas frequentes e uma grande variação térmica ao longo do dia.

Assim, a manifestação patológica em questão vem ocorrendo, principalmente, em função da exposição frequente da fachada à ação da chuva, da possível deficiência ou degradação dos sistemas de impermeabilização e da baixa incidência de radiação solar em determinadas orientações da edificação. Esses fatores estão colaborando para a retenção de umidade na superfície dos revestimentos, criando um ambiente propício para a proliferação de fungos e bolores. Além disso, a combinação entre umidade persistente, sombreamento e acúmulo de sujeira intensifica o desenvolvimento desses microrganismos, favorecendo o aparecimento de manchas e comprometendo o aspecto estético e a durabilidade dos revestimentos externos.

Figura 3 - Mofos na face externa- prédio 43 A

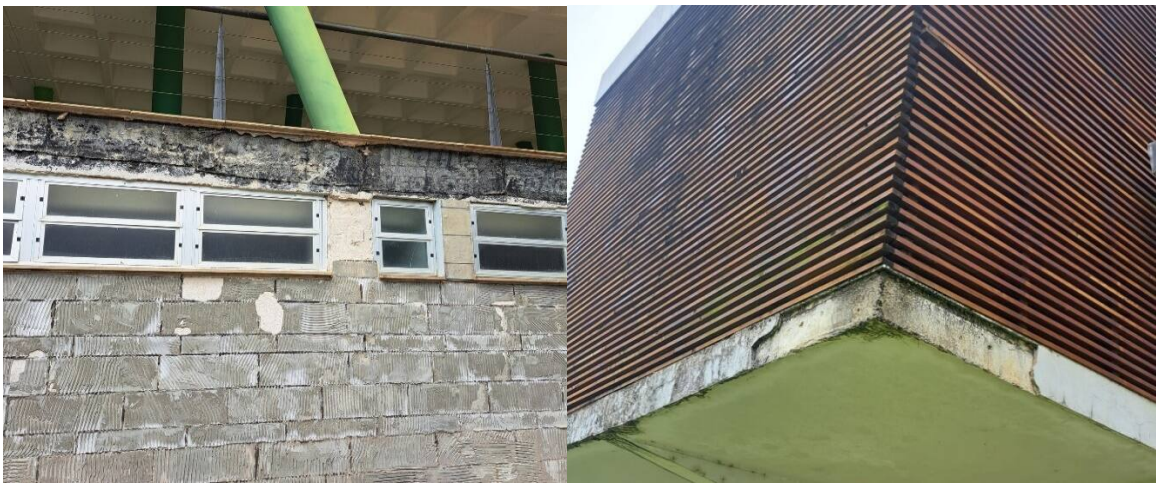


Fonte: o autor.

A ausência de manifestações patológicas no interior do prédio 43A indica que, até o momento, as anomalias identificadas não afetaram de forma significativa o desempenho dos elementos construtivos internos nem resultaram em infiltrações perceptíveis nos ambientes internos. Contudo, a presença contínua de fissuras na fachada pode favorecer, ao longo do tempo, a infiltração de água, o que tende a intensificar o processo de deterioração e, eventualmente, ocasionar o aparecimento de problemas no interior da edificação caso não sejam adotadas medidas de intervenção adequadas.

A inspeção visual realizada no prédio 43 B permitiu identificar a ocorrência de duas manifestações patológicas na edificação, sendo elas o desplacamento do revestimento na fachada e a presença de mofos em determinadas superfícies externas, conforme a Figuras 4. Por outro lado, durante a vistoria realizada no interior do prédio, não foram constatadas manifestações patológicas aparentes, indicando que os ambientes internos apresentam condições satisfatórias de conservação no momento da análise.

Figura 4 - Desplacamento do revestimento e mofos- prédio 43 B



Fonte: o autor.

O desplacamento do revestimento observado na fachada do prédio 43 B caracteriza-se pela perda de aderência entre as placas de revestimento e o substrato, resultando no desprendimento parcial ou total do material. Esse tipo de manifestação patológica possivelmente está associado a diferentes fatores, como falhas no processo de execução do revestimento, deficiência na aderência da argamassa colante, ausência ou inadequação de juntas de movimentação, além da ação de agentes climáticos que provocam variações térmicas e higroscópicas nos materiais. O que vem comprometendo o desempenho e a durabilidade do sistema de revestimento, e ainda representando riscos à segurança, em razão da possibilidade de queda de elementos da fachada.

Em contrapartida, a inexistência de manifestações patológicas no interior do prédio 43 B indicam que, até o momento da inspeção, não foram identificados problemas relacionados à infiltração, umidade ou degradação visível dos elementos construtivos internos. Esse resultado sugere que as patologias observadas estão concentradas principalmente na parte externa da edificação, possivelmente associadas à exposição direta às condições ambientais e à ação de agentes externos. Dessa forma, os resultados da inspeção indicam a necessidade de intervenções corretivas na fachada do prédio 43 B, especialmente no que se refere à recuperação das áreas afetadas pelo desplacamento do revestimento e a remoção e tratamento das superfícies com presença de mofos. Essas medidas são importantes para preservar o desempenho, a durabilidade e a robutez dos sistemas construtivos da edificação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação das manifestações patológicas representa uma etapa inicial fundamental para compreender os problemas que podem afetar o desempenho e a durabilidade das edificações. De maneira geral, verificou-se que as anomalias observadas nos prédios do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria estão, em grande parte, associadas à ação da umidade, às

condições ambientais e a possíveis falhas relacionadas à execução ou à manutenção dos sistemas construtivos.

Os resultados obtidos ressaltam a relevância da realização de inspeções periódicas e de diagnósticos técnicos mais aprofundados, capazes de identificar as causas das manifestações patológicas e orientar a adoção de medidas preventivas e corretivas adequadas. A implementação dessas ações tende a contribuir para a conservação do patrimônio público, além de favorecer a oferta de ambientes mais seguros, funcionais e apropriados para o desenvolvimento das atividades de ensino, pesquisa e extensão.

REFERÊNCIAS

CARMO, P. R. L. **Patologia das construções**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

DAL MOLIN, D. C.C. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

DAL MOLIN, D. C.C.; ANDRADE, J. J. O. **Patologia das estruturas de concreto**. Porto Alegre: UFRGS, 2014.

FRANCO, L. S.; PEREIRA, J. C. **Patologia das edificações: diagnóstico e recuperação.** São Paulo: PINI, 2019.

HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

HELENE, P. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Red Rehabilitar, 2003.

HELENE, P.; BITTENCOURT, T. N. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2013.

HELENE, P.; PEREIRA, T. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 2007.

MEDEIROS, M. H.F.; LEMES, L. C.; MELGES, J. L. P. **Patologia das construções.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

RIPPER, L. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1996.

SILVA, A. C. **Patologia das edificações.** São Paulo: PINI, 2012.

SOUZA, V. C. M. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 2012.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1998.

THOMAZ, L. E. B. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: PINI, 1989.

CAPÍTULO 86 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/2rdcr109
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/m2p8j092

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ASSOCIADAS À UMIDADE EM EDIFICAÇÃO PÚBLICA SOB A ÓTICA DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA

João Pedro Figueiró d´Ornellas[1]
**Autor de contato: joaopedro@dornellasarquitetura.com.br

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo de caso voltado ao levantamento e à análise de manifestações patológicas associadas à presença de umidade em edificação pública. A pesquisa adota abordagem qualitativa, com apoio de inspeção predial, análise documental e revisão bibliográfica atualizada. Foram identificadas infiltrações em áreas sob jardins, umidade no pavimento subsolo, eflorescências, bolhas, destacamento de pintura e deficiência no sistema de captação pluvial. A análise foi conduzida com base em referenciais contemporâneos da engenharia diagnóstica, com destaque para a ABNT NBR 16747:2020 e a Norma de Inspeção Predial do IBAPE (2025). Os resultados evidenciam que as manifestações observadas estão associadas, principalmente, a falhas de projeto, execução inadequada, ausência de detalhamento de impermeabilização e manutenção insuficiente. Conclui-se que o levantamento sistematizado das manifestações patológicas constitui etapa fundamental para o diagnóstico, a priorização de intervenções e a mitigação de riscos técnicos e funcionais em edificações em uso.

***Palavras-chave**:* manifestações patológicas; inspeção predial; impermeabilização; umidade; diagnóstico.

ABSTRACT

This article presents a case study focused on the identification and analysis of pathological manifestations associated with moisture in a public building. The research adopts a qualitative approach, supported by building inspection, document analysis, and an updated literature review. Infiltration in areas under gardens, moisture in the basement floor, efflorescence, blisters, paint detachment, and deficiencies in the rainwater harvesting system were identified. The analysis was conducted based on contemporary diagnostic engineering references, with emphasis on ABNT NBR 16747:2020 and the IBAPE Building Inspection Standard (2025). The results show that the observed manifestations are mainly associated with design flaws, inadequate execution, lack of waterproofing detailing, and insufficient maintenance. It is concluded that the systematic identification of pathological manifestations is a fundamental step for the diagnosis, prioritization of interventions, and mitigation of technical and functional risks in buildings in use.

Keywords: pathological manifestations; building inspection; waterproofing; moisture; diagnosis.

1. INTRODUÇÃO

A manifestação patológica das construções vem se consolidando como campo indispensável à preservação do desempenho, da segurança e da durabilidade das edificações. Em edifícios em uso, especialmente os de caráter público, o problema raramente se apresenta como evento isolado; ele se manifesta como processo cumulativo, em que pequenos indícios visuais traduzem mecanismos mais profundos de degradação. Nesse contexto, o levantamento de manifestações patológicas não deve ser tratado como mera listagem fotográfica de danos, mas como procedimento técnico de leitura do comportamento construtivo em serviço.

No estudo de caso, o foco estava concentrado nas falhas de sistemas de impermeabilização e na mitigação dos riscos a elas associados. A opção pelo presente artigo e estudo de caso decorre de duas razões técnicas. A primeira é a aderência direta do novo recorte temático ao eixo 'levantamento de manifestação patológica', admitido pelo congresso. A segunda é metodológica: no caso concreto examinado, os sintomas observáveis infiltrações, eflorescências, empolamentos, destacamentos e manchas são o ponto de partida mais seguro para estruturar o diagnóstico, uma vez que a manifestação visível constitui a interface entre a anomalia instalada e a tomada de decisão técnica.

A literatura recente reforça a centralidade da umidade nesse processo. Macedo et al. (2025) assinalam que a presença de água em elementos construtivos compromete o desempenho, a durabilidade e a salubridade dos ambientes, além de elevar custos não programados de recuperação. Em paralelo, Kamel, Habibi e Memari (2024) destacam que a gestão da umidade deve combinar projeto, seleção de materiais, monitoramento e manutenção, sob pena de a envoltória da edificação perder progressivamente sua capacidade de proteção.

No plano normativo, a ABNT NBR 16747:2020 reposiciona a inspeção predial como processo sistêmico, predominantemente sensorial, voltado à constatação das condições técnicas, de uso, operação, manutenção e funcionalidade da edificação. Já a Norma de Inspeção Predial do IBAPE, publicada em 2025, detalha procedimentos e classificações úteis para a leitura das não conformidades, sobretudo quando se busca distinguir anomalias construtivas, falhas de manutenção e perdas de desempenho em uso.

À vista desse quadro, o objetivo deste artigo é apresentar o levantamento das manifestações patológicas identificadas em edificação pública inspecionada pelo autor, interpretando o estudo de caso à luz de referenciais teóricos. Busca-se, com isso, organizar tecnicamente os sintomas levantados, discutir suas prováveis causas, indicar tecnologias contemporâneas de apoio ao diagnóstico e demonstrar como o levantamento patológico bem estruturado qualifica o prognóstico e a definição das medidas corretivas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Levantamento de manifestações patológicas e engenharia diagnóstica

O levantamento de manifestações patológicas é etapa estruturante da engenharia diagnóstica. Mais do que registrar danos aparentes, ele exige correlação entre sintoma, mecanismo provável, condições de exposição, histórico de uso e desempenho esperado do sistema construtivo. Em formulação clássica, Lichtenstein (1986) já advertia que a manifestação patológica é apenas a expressão final de um processo cuja origem pode residir no projeto, na execução, nos materiais, no ambiente ou no uso. A permanência dessa lógica é notável: mesmo com o avanço dos recursos digitais, o raciocínio causal continua sendo o núcleo do diagnóstico consistente.

Na inspeção predial contemporânea, a leitura das manifestações deve ser feita de forma sistêmica. A ABNT NBR 16747:2020 estabelece que a análise não se limita ao elemento afetado, devendo considerar a edificação, seus sistemas e subsistemas. O IBAPE (2025), por sua vez, reforça que a classificação da origem das não conformidades é essencial para a definição das recomendações técnicas e para a adequada gestão de riscos. Em outras palavras, não basta descrever uma mancha de umidade; é preciso compreender se ela decorre de deficiência de impermeabilização, falha de drenagem, infiltração por interface construtiva, condensação ou manutenção inadequada.

Essa perspectiva também tem implicações práticas. Um levantamento patológico bem conduzido deve reunir, de modo articulado, vistoria sensorial, registro fotográfico, anamnese, leitura de projetos disponíveis, checagem de manutenção e, quando necessário, indicação de inspeções especializadas. O produto não é apenas um inventário de sintomas, mas uma base técnica para diagnóstico, prognóstico e priorização de intervenções.

2.2. Umidade, impermeabilização e perda de desempenho

A água continua sendo um dos agentes mais agressivos para a durabilidade das edificações. Sua atuação pode ocorrer por infiltração, percolação, capilaridade, condensação ou vazamentos, atingindo revestimentos, alvenarias, elementos estruturais e ambientes internos. A literatura brasileira recente confirma que as manifestações associadas à umidade permanecem entre as ocorrências mais frequentes em inspeções prediais, sobretudo em áreas enterradas, lajes ajardinadas, fachadas expostas, coberturas e zonas molhadas.

A ABNT NBR 9575:2010 estabelece que a impermeabilização deve ser entendida como sistema, e não como camada isolada. Sua eficácia depende da compatibilidade entre uso, solicitação, geometria, detalhamento executivo e interação com os demais sistemas construtivos. Quando essa coordenação não ocorre, surgem descontinuidades em rodapés, ralos, encontros de planos, jardineiras, juntas e passagens de tubulação – pontos em que, com frequência, se iniciam processos de perda de estanqueidade.

Macedo et al. (2025), ao estudarem edificação pública, verificaram que mais de 80% das manifestações observadas estavam relacionadas a falhas de projeto e de execução, incluindo drenagem pluvial deficiente e ausência de projeto específico de impermeabilização. O achado converge com a experiência profissional corrente: em boa parte dos casos, o dano visível não decorre da inexistência absoluta do sistema, mas de sua descontinuidade, da solução executiva inadequada ou da falta de manutenção dos dispositivos de escoamento.

Do ponto de vista do desempenho, a umidade compromete simultaneamente requisitos de habitabilidade, funcionalidade e durabilidade. Eflorescências, descascamentos, bolhas e mofos constituem sinais precoces de perda de desempenho; quando persistentes, podem evoluir para degradação de argamassas, corrosão localizada de armaduras e redução da vida útil de revestimentos e componentes.

2.3. Métodos de inspeção e tecnologias atuais de apoio ao diagnóstico

A vistoria predominantemente sensorial segue sendo a base do levantamento patológico, mas a prática atual já incorpora recursos tecnológicos capazes de ampliar a confiabilidade do diagnóstico. Entre eles, destacam-se a termografia infravermelha, os medidores de umidade, o mapeamento fotogramétrico, o uso de drones, as plataformas BIM para gestão do ativo e, em cenários mais avançados, sensores de monitoramento e modelos preditivos baseados em dados.

Takva, Takva e Çakıcı (2025) observam que a termografia infravermelha é ferramenta eficiente em inspeções periódicas rápidas, apta a detectar umidade e outras anomalias térmicas em paredes, coberturas, pontes térmicas e zonas de perda de vedação. Mirzabeigi, Razkenari e Crovella (2025) demonstram que drones equipados com câmeras térmicas e sensores ópticos já oferecem suporte relevante à avaliação da envoltória, sobretudo em áreas de difícil acesso e em levantamentos que exigem repetibilidade e rastreabilidade geométrica.

Kamel, Habibi e Memari (2024) ampliam essa discussão ao mostrar que sensores e sistemas de monitoramento podem auxiliar a gestão preventiva da umidade, permitindo leituras mais tempestivas do comportamento higrotérmico da envoltória. Em linha semelhante, Dafico et al. (2023) indicam que modelos de aprendizado de máquina aplicados à avaliação de umidade em materiais construtivos apresentam desempenho promissor, o que sinaliza uma tendência de integração entre inspeção em campo, medição não destrutiva e análise preditiva.

A adoção desses recursos, contudo, não substitui o juízo técnico. Gurmu, Denipitiya e Wijeratne (2025) ressaltam que os defeitos induzidos por água afetam simultaneamente a integridade estrutural, a aparência e a funcionalidade do edifício; por isso, os métodos de detecção precisam ser interpretados em contexto, sempre associados à análise construtiva do elemento, ao histórico de exposição e à coerência entre sintoma e mecanismo.

Quadro 1 – Síntese dos referenciais empregados no levantamento patológico

Eixo de análise	Base de referência	Aplicação no artigo
Inspeção predial	ABNT NBR 16747:2020; IBAPE (2025)	Definição do procedimento predominantemente sensorial, da leitura sistêmica da edificação e da classificação das não conformidades.
Impermeabilização	ABNT NBR 9575:2010; ABNT NBR 9574:2008	Compreensão do sistema impermeabilizante, de suas interfaces críticas e das exigências de seleção, detalhamento e execução.
Durabilidade e manifestação patológica	Lichtenstein (1986); Helene e Pereira (2007)	Relação entre manifestação, mecanismo, causa provável e implicações para a vida útil dos elementos afetados.
Tecnologias de apoio	Kamel et al. (2024); Dafico et al. (2023); Takva et al. (2025); Mirzabeigi et al. (2025)	Atualização das ferramentas de apoio ao levantamento, ao monitoramento da umidade e à inspeção não destrutiva.

Fonte: os autores.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1. Delineamento da pesquisa

A pesquisa possui natureza aplicada e abordagem qualitativa, sendo desenvolvida a partir de inspeção predial realizada em edificação pública, associada à análise documental e à revisão bibliográfica. O estudo concentrou-se na identificação, registro e interpretação das manifestações patológicas observadas em campo, considerando sua relação com os sistemas construtivos envolvidos.

A análise foi conduzida com base em referenciais normativos e técnicos atualizados, com ênfase nas diretrizes da ABNT NBR 16747:2020 e na Norma de Inspeção Predial do IBAPE (2025). O procedimento adotado buscou correlacionar os sintomas observados com os mecanismos de degradação e as possíveis causas associadas, de modo a estruturar o raciocínio diagnóstico e subsidiar a definição de encaminhamentos técnicos.

3.2. Caracterização do estudo de caso

O caso refere-se à edificação pública localizada no Estado de Mato Grosso do Sul, inspecionada pelo autor em contexto de produção de laudo técnico. A documentação analisada descreve a ocorrência de infiltrações em áreas situadas abaixo de jardins, presença de umidade no pavimento subsolo, manifestações de eflorescência, empolamento e destacamento de pintura, além de deficiência funcional do sistema de drenagem e captação de águas pluviais.

A leitura do conjunto indica quadro patológico predominantemente vinculado à ação da água sobre elementos enterrados e semienterrados, interfaces entre áreas externas ajardinadas e ambientes internos, e dispositivos de coleta e escoamento pluvial. Trata-se, portanto, de caso apropriado para discutir a interdependência entre impermeabilização, drenagem, manutenção e desempenho da envoltória.

A edificação analisada possui uso predominantemente administrativo, composta por pavimentos acima do solo e subsolo, além de áreas externas com presença de jardins. O sistema estrutural é em concreto armado, com vedação em alvenaria revestida. A edificação apresenta sistemas convencionais de impermeabilização nas áreas sujeitas à ação da água, incluindo regiões enterradas e superfícies expostas.

O conjunto analisado apresenta características típicas de edificações públicas em uso contínuo, com intervenções de manutenção realizadas de forma pontual ao longo do tempo, sem a adoção de um plano sistemático de conservação predial.

3.3. Procedimento de levantamento e classificação

Para fins de sistematização, as manifestações foram organizadas em fichas analíticas contendo: localização, sintoma predominante, provável mecanismo de ingresso de água, possíveis causas, impactos observáveis e encaminhamento técnico preliminar. A classificação adotada distingue efeitos estéticos, funcionais e potenciais repercussões sobre a durabilidade, sem converter o sintoma, de forma apressada, em dano estrutural consumado.

O procedimento seguiu a lógica da inspeção predial global, com ênfase no reconhecimento visual dos indícios, em coerência com a ABNT NBR 16747:2020. Quando pertinente, foram incorporadas recomendações atuais sobre técnicas complementares de apoio ao diagnóstico, como termografia, medição de umidade, inspeção de interfaces críticas e mapeamento digital de superfícies.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Levantamento das manifestações patológicas identificadas

Quadro 2 – Síntese técnica das manifestações patológicas levantadas no estudo de caso

Local / sistema	Manifestação observada	Mecanismo provável	Implicação predominante	Conduta técnica inicial
Áreas sob jardins	Infiltração e manchas de umidade em ambientes imediatamente inferiores	Perda de estanqueidade do conjunto impermeabilização/drenagem em área ajardinada	Comprometimento funcional e aceleração da degradação de revestimentos	Revisar camadas do sistema, pontos de drenagem, caimentos, ralos e detalhes de transição.
Pavimento subsolo	Umidade persistente em paredes e tetos	Ingressão de água por interfaces enterradas e drenagem insuficiente	Redução da salubridade e risco de progressão do dano	Executar inspeção dirigida da face externa, verificar pressão hidrostática, drenagem periférica e barreiras impermeáveis.
Revestimentos internos	Eflorescências	Migração de sais solúveis em presença de umidade	Perda estética e indício de percolação recorrente	Eliminar origem da água, remover depósitos salinos e reconstituir revestimento após secagem controlada.
Pintura e argamassas	Bolhas, empolamentos e destacamentos	Acúmulo de umidade atrás da película e perda de aderência	Dano estético e funcional, com recorrência provável se não tratada a causa	Raspar áreas soltas, avaliar argamassa, recompor sistema após correção da origem da umidade.
Captação pluvial	Desempenho insuficiente do escoamento	Falhas de projeto, obstrução ou subdimensionamento do sistema	Agravação do molhamento das superfícies e sobrecarga hídrica local	Redimensionar ou corrigir elementos de coleta e condução, com manutenção programada.

Fonte: elaborado pelos autores a partir do laudo técnico de referência.

O conjunto de ocorrências evidencia que a manifestação predominante não é isolada, mas encadeada. A infiltração observada sob jardins, por exemplo, explica a presença de umidade persistente no pavimento inferior e se relaciona aos sintomas subsequentes de eflorescência e perda de aderência de revestimentos. Em casos assim, a reparação localizada da superfície interna costuma apenas mascarar o problema, pois a origem permanece ativa.

As manifestações identificadas foram registradas durante a inspeção predial, conforme exemplificado na Figura 1 e na Figura 2, que ilustram a presença de umidade em elementos internos e a degradação de revestimentos associada à ação da água.

Figura 1 – Presença de umidade em ambiente interno

MAPEAMENTO DE DANOS - 1



Infiltração parede estacionamento subsolo

AGENTE: Percolação de água

CAUSA: Possível falha/ausência impermeabilização área de jardim

SOLUÇÃO: PAVIMENTO TERREO; Preparação da superfície do piso, regularização de toda a área com argamassa de cimento e areia, traço 1:3 em volume, espessura mínima de 2 cm. Limpar bem a superfície e executar regularização impermeável usando o Aditivo Impermeabilizante Líquido, com argamassa no traço 1:3.
Após 72 horas de cura da massa impermeável de regularização, aplicar Impermeabilizante Asfáltico como primer de aderência em toda a área.
Após 24 horas de secagem do primer, aplicar a Manta asfáltica utilizando o maçarico, fazendo a sobreposição de 10 cm de uma manta sobre a outra.
Executar sobre a camada separadora a proteção mecânica final com massa de cimento e areia no traço 1:4 em volume e espessura mínima de 3 cm.

PAVIMENTO SUBSOLO; Remoção da argamassa danificada.
Aplicação de manta líquida manta impermeabilizante na base (alvenaria), camada de aderência (chapisco) para receber a camada de reboco com o aditivo impermeabilizante na argamassa para o reboco. Para novo acabamento aplicar pintura acrílica, seguindo recomendado para superfície nova, aplicar fundo selador para alvenaria como preparador de base para receber nova pintura (Tipo 4.1.9 da NBR 11702); Pintura da superfície em duas demãos observando o tempo necessário entre as demãos, conforme especificações do fabricante.

CLASSIFICAÇÃO	(x) Anomalia	( ) Exógena	Criticidade	() Crítico
		(x) Endógena		() Regular
		( ) Natural		
		( ) Funcional		
	(x) Falha	( ) Planejamento		
		(x) Execução		(x) Mínimo
		( ) Operacional		

Fonte: O autor

Figura 2 – Eflorescência e destacamento de revestimento



Fonte: O autor

Também merece atenção o papel do sistema de drenagem. Em inúmeras edificações, a manifestação patológica atribuída à impermeabilização é, na realidade, agravada por falhas de escoamento, ausência de alívio hidráulico, obstrução de ralos ou incompatibilidade entre cotas, caimentos e volume de contribuição. O levantamento patológico, portanto, deve integrar impermeabilização e drenagem numa mesma leitura, sob pena de se formular terapia incompleta.

4.2. Relação causa–mecanismo–efeito no caso analisado

À luz dos referenciais atualizados, o caso sugere combinação de causas primárias e secundárias. Como causas primárias, sobressaem a deficiência de projeto ou detalhamento do sistema impermeabilizante, a execução inadequada das interfaces críticas e problemas no sistema de captação pluvial. Como causas secundárias, destacam-se a manutenção insuficiente e a permanência prolongada da umidade, que intensifica a degradação dos materiais de acabamento.

Gurmu, Denipitiya e Wijeratne (2025) distinguem os defeitos induzidos por água em três grupos: estruturais, estéticos e funcionais. Essa chave de leitura se mostrou particularmente útil para o caso em exame. As manifestações registradas são, no momento da vistoria-base, majoritariamente estéticas e funcionais; entretanto, sua persistência pode evoluir para repercussões mais gravosas

sobre a durabilidade do sistema construtivo, sobretudo em ambientes enterrados e em elementos sujeitos a ciclos repetidos de molhagem e secagem.

Em termos de mecanismo, o comportamento observado é compatível com ingresso recorrente de água líquida, seguido de retenção em interfaces construtivas e migração para os revestimentos internos. A eflorescência confirma o trânsito de solução aquosa através dos poros; as bolhas e os destacamentos, por sua vez, indicam perda de aderência associada à umidade aprisionada. A convergência desses sintomas afasta a hipótese de dano meramente superficial e reforça a necessidade de intervenção na origem do problema.

4.3. Implicações práticas para reabilitação e manutenção

Do ponto de vista da tomada de decisão, o levantamento realizado conduz a três frentes de ação. A primeira é corretiva, voltada à eliminação efetiva das rotas de ingresso de água, com revisão do sistema de impermeabilização, dos caimentos, dos ralos e da drenagem associada. A segunda é reparadora, destinada à recomposição dos revestimentos e acabamentos apenas depois de controlada a origem do molhamento. A terceira é gerencial, referente à implementação de rotina de inspeção e manutenção preventiva.

Essa última frente merece destaque. Em edificações públicas, a reincidência de manifestações patológicas costuma decorrer menos da complexidade do reparo e mais da descontinuidade da manutenção. O levantamento patológico, quando bem documentado, oferece base objetiva para hierarquização de riscos, definição de prioridades orçamentárias e elaboração de plano de conservação predial. Nessa perspectiva, seu valor excede o campo do diagnóstico: ele passa a integrar a gestão técnica do ativo.

4.4. Priorização de intervenções a partir do levantamento patológico

A utilidade prática do levantamento patológico se confirma quando ele permite transformar evidências dispersas em critério de decisão. Em edifícios em uso, especialmente os públicos, a definição da sequência de intervenções deve considerar simultaneamente gravidade, extensão, recorrência, acessibilidade para reparo e potencial de agravamento. Não se trata de privilegiar apenas o dano visualmente mais expressivo, mas aquele que, mantido ativo, tende a produzir maior perda funcional ou maior custo de recuperação futura.

No estudo em questão, as ocorrências ligadas às áreas ajardinadas e ao pavimento subsolo assumem prioridade superior porque atuam como focos alimentadores das demais manifestações. Enquanto permanecer ativo o ingresso de água, intervenções em pintura, argamassa e acabamento interno terão desempenho apenas transitório. A hierarquização abaixo não substitui orçamento executivo nem projeto de reabilitação, mas oferece quadro objetivo para gestão das ações corretivas.

A priorização das intervenções foi estabelecida com base em critérios qualitativos de engenharia diagnóstica, considerando a gravidade das manifestações, sua extensão, potencial de agravamento, impacto funcional e recorrência. Essa abordagem permite hierarquizar as ações de forma coerente com o risco técnico associado, sendo amplamente adotada em inspeções prediais.

Quadro 4 – Matriz sintética de priorização das intervenções

Frente de intervenção	Risco associado	Prioridade	Justificativa técnica
Revisão da impermeabilização e da drenagem em áreas sob jardins	Recorrência de infiltrações e propagação do dano	Alta	Atua na origem do ingresso de água e interfere diretamente nas manifestações internas observadas.
Correção das interfaces enterradas / subsolo	Persistência de umidade, insalubridade e degradação progressiva	Alta	Ambientes enterrados concentram maior tempo de exposição à umidade e maior dificuldade de secagem.

Recomposição de argamassas, pintura e acabamentos	Perda estética e funcional	Média	Deve ocorrer após eliminação da causa, sob pena de reincidência precoce.
Implantação de rotina de manutenção e inspeção periódica	Reaparecimento das anomalias e perda de rastreabilidade	Alta	Garante acompanhamento pós-reparo, limpeza de drenagem e resposta tempestiva a novos indícios.

Fonte: os autores.

A priorização proposta confirma uma diretriz recorrente da engenharia diagnóstica: atacar primeiro a causa ativa, depois os efeitos secundários. Em termos executivos, isso significa iniciar pelos sistemas que controlam a água – impermeabilização, drenagem, interfaces e escoamento – e somente na sequência recompor os elementos de acabamento afetados. A inversão dessa lógica é uma das razões mais frequentes para a reincidência de manifestação patológicas por umidade.

4.6. Protocolo atualizado para levantamentos patológicos em 2025

O estudo de caso permite propor um protocolo operacional compatível com a prática de 2025. Em uma primeira etapa, realiza-se a anamnese da edificação, com coleta do histórico de uso, reformas, pontos recorrentes de vazamento, falhas relatadas pelos usuários e documentação disponível de projeto e manutenção. Em seguida, procede-se à vistoria de reconhecimento, com mapeamento dos sintomas por ambiente, registro fotográfico padronizado e indicação preliminar de sua extensão e frequência.

Na segunda etapa, o levantamento deve relacionar cada manifestação ao sistema construtivo potencialmente implicado. Manchas em teto abaixo de jardineira, por exemplo, não devem ser tratadas apenas como problema de forro ou pintura, mas como possível falha integrada entre impermeabilização, drenagem, camada drenante, geotêxtil, ralos e caimentos. Esse encadeamento evita diagnósticos parciais e reduz o risco de terapias superficiais.

A terceira etapa compreende a decisão sobre exames complementares. É nesse ponto que entram a termografia, a medição de umidade, a inspeção dirigida de interfaces críticas, o uso de drones e, quando aplicável, a abertura exploratória controlada. O critério não deve ser o fascínio pelo recurso instrumental, mas sua efetiva capacidade de reduzir incerteza diagnóstica.

Por fim, o levantamento precisa resultar em documento tecnicamente útil. Isso significa apresentar mapa de danos, classificação das manifestações, interpretação causal, priorização de riscos e recomendação de encaminhamentos compatíveis com a complexidade do caso. Quando essa estrutura é observada, o levantamento deixa de ser relatório descritivo e passa a funcionar como instrumento de gestão predial, planejamento de manutenção e fundamentação de projetos de reabilitação.

Sob essa ótica, a atualização do presente artigo não se limita a modernizar citações. Ela evidencia uma mudança de cultura profissional: a de compreender o levantamento de manifestações patológicas como produto técnico central, capaz de articular inspeção, diagnóstico, prognóstico e gestão do ciclo de vida do edifício.

4.7. Diretrizes para investigação complementar e reabilitação

Em situações análogas à deste estudo, a investigação complementar deve ser selecionada conforme o nível de incerteza remanescente após a vistoria. Quando a manifestação está claramente associada a um ponto de passagem de água e há coerência entre origem, percurso e dano, a inspeção sensorial bem documentada pode ser suficiente para orientar a intervenção. Porém, quando há sobreposição de hipóteses – por exemplo, entre infiltração, condensação e vazamento de instalação – torna-se recomendável adotar procedimentos adicionais que estreitem o diagnóstico.

Para elementos enterrados e superfícies abaixo de jardineiras, a abertura exploratória controlada, associada à verificação de caimentos, camada drenante, geotêxtil, proteção mecânica e condição

dos ralos, tende a oferecer alta resolutividade. Em superfícies internas, a termografia e a medição de umidade são particularmente úteis para delimitar a área afetada, identificar continuidade do fenômeno e orientar a remoção mínima necessária de revestimentos. Já em fachadas, coberturas e locais de acesso restrito, o emprego de drone reduz exposição ao risco e melhora a abrangência do registro.

Uma vez concluída a etapa diagnóstica, a reabilitação deve respeitar a lógica de sistema. Recompor somente o acabamento é solução aparente; recompor apenas a camada impermeável, sem corrigir drenagem e detalhes executivos, também é solução incompleta. A intervenção tecnicamente adequada exige compatibilização entre subsistemas, especificação coerente com a solicitação hídrica local, controle de execução e plano de manutenção posterior.

Em termos de boas práticas, recomenda-se que o memorial de recuperação descreva explicitamente: o perímetro da intervenção; o método de preparo do substrato; os detalhes de arremate em encontros verticais e passagens; os procedimentos de ensaio ou verificação; a sequência de recomposição das camadas; e a rotina de inspeção pós-obra. Sem esse encadeamento, mesmo uma solução de material adequada pode fracassar por deficiência de execução ou por ausência de controle na etapa final.

Quadro 5 – Diretrizes de investigação complementar conforme a manifestação predominante

Manifestação predominante	Hipótese principal a confirmar	Recurso complementar sugerido	Resultado esperado
Mancha de umidade recorrente em teto ou parede	Percurso ativo de água líquida	Termografia, medidor de umidade e inspeção do sistema superior	Delimitação da área de maior concentração de umidade e correlação com a origem.
Eflorescência e degradação de argamassa	Percolação por material poroso	Medição de umidade, inspeção de juntas e checagem de interfaces	Confirmação da persistência do fluxo e apoio à decisão de remoção / recomposição.
Umidade em subsolo	Ingressão por face enterrada e drenagem insuficiente	Inspeção externa dirigida, abertura exploratória e análise do escoamento	Identificação do ponto crítico e definição do escopo de intervenção externa.
Dano em fachada ou cobertura de difícil acesso	Perda de estanqueidade e falha de detalhamento	Drone com câmera óptica e, se possível, térmica	Mapeamento seguro das anomalias, com registro repetível e rastreável.

Fonte: os autores.

4.8. Limitações do estudo e potencial de replicação

A principal limitação desta pesquisa reside no fato de a atualização para 2025 ter sido construída a partir de laudo técnico previamente elaborado, e não de nova campanha de campo com ensaios instrumentais inéditos. Essa opção metodológica foi deliberada e transparente: buscou-se preservar a integridade das evidências disponíveis, evitando a criação de dados não observados. Em contrapartida, o estudo de caso permitiu ampliar a densidade analítica do caso, incorporar referenciais normativos recentes e propor um modelo de organização do levantamento patológico aplicável a situações semelhantes.

O encadeamento aqui adotado anamnese, vistoria, mapeamento, classificação, correlação causal, priorização e recomendação de exames complementares, pode ser reproduzido em escolas, fóruns, hospitais, edifícios administrativos e condomínios com manifestações dominadas pela ação da umidade. Trata-se, em essência, de um roteiro de engenharia diagnóstica capaz de conectar inspeção predial e reabilitação com maior consistência técnica.

5. CONCLUSÕES

A análise desenvolvida a partir do levantamento das manifestações patológicas permitiu compreender que os sintomas identificados na edificação, entre eles infiltrações, presença contínua de umidade, eflorescências, formação de bolhas e destacamentos de revestimentos, não se apresentam como ocorrências isoladas. Ao contrário, constituem sinais interdependentes de um processo de degradação associado, principalmente, à perda de estanqueidade dos elementos construtivos e ao desempenho insuficiente dos sistemas de drenagem e condução de águas. Tais condições tendem a ser agravadas pela combinação de fatores recorrentes na prática construtiva, especialmente inadequações de projeto, imperfeições executivas e ausência ou insuficiência de rotinas sistemáticas de manutenção ao longo da vida útil da edificação.

O estudo demonstrou ainda que o levantamento técnico das manifestações patológicas, quando conduzido de maneira criteriosa e com visão integrada do comportamento construtivo, ultrapassa a mera descrição dos danos observáveis. Trata-se de um procedimento que permite estruturar o raciocínio diagnóstico, estabelecer relações consistentes entre causas e efeitos e orientar a necessidade de investigações complementares. Esse processo contribui de forma decisiva para a elaboração de prognósticos técnicos mais confiáveis e para a definição de estratégias de intervenção compatíveis com a natureza e a extensão das anomalias identificadas. Nesse contexto, o levantamento patológico consolida-se como instrumento fundamental da engenharia diagnóstica aplicada às edificações em uso, fornecendo base técnica sólida para a tomada de decisões voltadas à recuperação, à preservação do desempenho construtivo e à ampliação da vida útil das estruturas.

Por fim, o estudo reforça que a prevenção continua sendo a estratégia mais econômica e tecnicamente eficiente. Em obras novas, isso implica projeto específico de impermeabilização, compatibilização com drenagem e detalhamento executivo rigoroso. Em edificações existentes, implica inspeção periódica, manutenção programada e resposta tempestiva aos primeiros sinais de perda de desempenho. É nesse ponto que o levantamento de manifestações patológicas assume seu papel mais nobre: transformar sintomas dispersos em conhecimento técnico útil à preservação do patrimônio construído.

O estudo reforça ainda a importância de associar o levantamento das manifestações patológicas à análise sistemática das condições construtivas da edificação, evitando interpretações genéricas e garantindo maior precisão no diagnóstico técnico.

AGRADECIMENTOS

O autor manifesta reconhecimento aos profissionais e instituições que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento das atividades técnicas relacionadas ao estudo apresentado. A prática profissional na área de inspeção e diagnóstico das edificações constitui importante fonte de aprendizado e aprimoramento técnico, possibilitando a consolidação das análises e reflexões aqui discutidas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574: Execução de impermeabilização.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575: Impermeabilização – Seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento.** Rio de Janeiro, 2020.

DAFICO, Leticia C. M.; BARREIRA, Eva; ALMEIDA, Ricardo M. S. F.; VICENTE, Romeu. **Machine learning models applied to moisture assessment in building materials.** Construction and Building Materials, v. 405, p. 133330, 2023. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.133330.

GURMU, Argaw; DENIPITIYA, Dulani; WIJERATNE, Pabasara Upalakshi. **Causes, detection and remediation of water-induced building defects: a systematic review.** In: WORLD CONSTRUCTION SYMPOSIUM, 13., 2025, Sri Lanka. Proceedings [...]. Colombo: CIOB, 2025. p. 385-396. DOI: 10.31705/WCS.2025.29.

HELENE, Paulo; PEREIRA, Fernanda. **Manual de reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** São Paulo: IBRACON, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. **Norma de inspeção predial nacional.** São Paulo, 2025.

KAMEL, Ehsan; HABIBI, Shahryar; MEMARI, Ali M. **State of the practice review of moisture management in residential buildings through sensors**. Structures, v. 59, art. 105698, 2024. DOI: 10.1016/j.istruc.2023.105698.

LICHTENSTEIN, Norberto B. **Manifestação patológica das construções.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986.

LIMA, José Luis Alves; PASSOS, Fernando Uberto; COSTA, Dayana Bastos. **Processo integrado de projeto, aquisição e execução de sistemas de impermeabilização em edifícios residenciais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 59-77, 2013. DOI: 10.1590/S1678-86212013000300005.

MACEDO, Jeandson Willck **Nogueira et al. Manifestações patológicas causadas pela umidade**. Revista Thema, v. 24, n. 2, p. 1-19, 2025. DOI: 10.15536/revistathema.24.2025.3047.

MIRZABEIGI, Shayan; RAZKENARI, Ryan; CROVELLA, Paul. **A review of the potential of drone-based approaches for integrated building envelope assessment**. Buildings, v. 15, n. 13, p. 2230, 2025. DOI: 10.3390/buildings15132230.

TAKVA, Çagatay; TAKVA, Fulya Gökşen; ÇAKICI, Fatma Zehra. **Thermal analysis of the building envelope with infrared thermography and simulation in educational buildings in the cold climate region.** Buildings, v. 15, n. 11, p. 1759, 2025. DOI: 10.3390/buildings15111759.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

TUTIKIAN, Bernardo; PACHECO, Marina. **Inspección, diagnóstico y pronóstico en la construcción civil.** Revista ALCONPAT, Mérida, v. 3, n. 2, p. 74-86, 2013.

HOŁA, Anna; CZARNECKI, Sławomir. **Random forest algorithm and support vector machine for nondestructive assessment of mass moisture content of brick walls in historic buildings.** Automation in Construction, v. 149, p. 104793, 2023. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.104793.

AKO-ADJEI, James Tito; AYARKWA, Joshua; ACHEAMPONG, Alex. **Techniques and strategies for preserving buildings against dampness and mould conditions: a systematic literature review.** International Journal of Building Pathology and Adaptation, 2025. DOI: 10.1108/IJBPA-06-2025-0142.

CAPÍTULO 87 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/rd5c2n19
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/hfjh5j39

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE MURO DE ARRIMO

Talles Teylor dos Santos Mello[1]*, Erika Hikari Tago[2]; Gusttavo Moreira de Araujo[3]

*Autor de contato: eng.tallesmello@gmail.com

[1] Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Unigran Capital, Campo Grande/MS, Brasil
[2] Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Unigran Capital, Campo Grande/MS, Brasil
[3] Departamento de Planejamento e Controle, Concrelaje, Campo Grande/MS, Brasil

RESUMO

Em Campo Grande (MS), após um intenso período chuvoso ocorrido nos primeiros meses de 2024, um muro de arrimo localizado em condomínio residencial horizontal colapsou em março e teve sua construção finalizada em julho do mesmo ano. Neste sentido, o presente trabalho objetivou investigar se a construção do novo muro de arrimo obteve êxito com base nos critérios estabelecidos pela norma 11682 sobre a estabilidade e resistência às cargas atuantes, por meio de pesquisa in loco, bibliográfica e desenvolvimento de modelo computacional. Para as analises de estabilidade ao escorregamento, tombamento e resistência, analisou-se cinco hipóteses: situação atual e acréscimos de 0,50 metros de aterro na face do muro de arrimo, devido ao terreno ser em declive e gradativamente elevar a carga atuante. Após análises, conclui-se que a armadura utilizada será insuficiente para o momento fletor atuante em todas as hipóteses, sendo necessário reforçá-lo pois haverá risco de novo colapso. A implementação dos reforços estruturais para estabilidade da estrutura foi indicada aos responsáveis. Entretanto, após novo período de chuvas, o muro de arrimo colapsou.
Palavras-chave: muro de arrimo; empuxo do solo; chuvas.

ABSTRACT

In Campo Grande (MS), after an intense rainy period in the first months of 2024, a retaining wall located in a horizontal residential condominium collapsed in March, and its construction was completed in July of the same year. In this context, this work aimed to investigate whether the construction of the new retaining wall was successful based on the criteria established by standard 11682 regarding stability and resistance to acting loads, through on-site research, bibliographic research, and the development of a computational model. For the analyses of stability against sliding, overturning, and resistance, five hypotheses were analyzed: the current situation and additions of 0.50 meters of fill on the face of the retaining wall, due to the sloping terrain and the gradually increasing acting load. After analysis, it was concluded that the reinforcement used will be insufficient for the acting bending moment in all hypotheses, making it necessary to reinforce it because there will be a risk of further

collapse. The implementation of structural reinforcements for the stability of the structure was recommended to those responsible. However, after another period of rain, the retaining wall collapsed.
Keywords: retaining wall; soil thrust; rainfall.

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Muros de arrimo são obras necessárias para que solos retidos não assumam seu declive natural, ou seja, conforme Ribeiro e Augusto (2023) descrevem, eles são utilizados quando há necessidade de conter encostas e/ou aterros. Portanto, a topografia local deve ser estudada previamente, proporcionando conhecimentos para um planejamento de uma obra segura, sendo calculado e executado para impedir deslizamentos que possam gerar desastres futuros.

Um outro ponto importante a ser levado em consideração é a falta de espaço em imóveis residenciais urbanos, não havendo espaço físico para implantação de estruturas que utilizem um elevado peso próprio como contenção, sem necessidade de grande consumo de concreto armado, como é o caso dos muros de gravidade. Por esse motivo, de uma maneira geral, se faz necessário o uso de muros de arrimo com utilização de concreto armado para resistir aos esforços solicitantes, em especial o empuxo de terra. Conforme Caputo e Caputo (2022), entende-se por empuxo de terra a ação produzidas pelo maciço terroso sobre as obras com ele em contato.

Por fim, vale lembrar que um fator indispensável a ser levado em conta nos projetos de muro de arrimo é a água decorrente das chuvas, bem como um projeto de escoamento e drenagem. A água decorrente das chuvas, eleva a carga a ser resistida pelo muro de arrimo e conforme descrevem Silva e Costa (2016) “o colapso de um muro de arrimo comumente está associado à falta de drenagem da água do maciço, gerando pressões hidrostáticas para os quais ele não foi dimensionado”.

Comumente no Brasil, ao se iniciar o período de chuvas, surgem notícias de sinistros provocados por falhas construtivas em muros de arrimos. Devido às impreteríveis falhas involuntárias e imperícias, pode-se observar que várias estruturas demonstram desempenho insatisfatório (Cavalcanti; Oliveira; Ribeiro, 2021).

Vale ressaltar que o artigo 1.311 do código civil descreve que “não é permitida a execução de obras ou serviços em um imóvel que possam comprometer a segurança do prédio vizinho, sem que antes sejam realizadas obras acautelatórias”.

Este artigo apresenta um estudo de caso sobre a construção de um novo muro de arrimo após o colapso de um muro de arrimo antigo, no município de Campo Grande/MS, por meio de uma análise normativa de verificação de estabilidade tanto ao tombamento quanto ao escorregamento, assim como a resistência as cargas atuantes, que permitiu avaliar se o novo muro de arrimo atendia aos parâmetros desejados.

2. MATERIAIS E MÉTODO

A metodologia adotada para a condução deste estudo possui uma abordagem quantitativa e descritiva, fundamentada nas normas vigentes e nos dados obtidos após visita in loco.

Na primeira etapa, realizou-se o levantamento de subsídios através de visitas in loco, utilizando instrumentos como câmera fotográfica e trena de aço, para uma inspeção inicial. Além disso, conduziu-se uma revisão bibliográfica. Em conjunto com essa revisão, empregou-se a técnica não destrutiva de inspeção visual, com coleta de dados e fotografias nos locais mencionados, realizada em outubro de 2024.

Na segunda etapa, após a coleta de todas as informações necessárias, procedeu-se à análise desses dados, confrontando com a norma 11682 (2009).

Na terceira etapa, ocorreu a simulação de hipóteses de aumento progressivo de carga decorrente das chuvas.
Por fim, na quarta etapa, ocorreu as sugestões de reparo, envolvendo avaliações de resultados e a formulação de recomendações de tratamento para solucionar os problemas patológicos para as manifestações.

2.1 Método

Esta seção descreve a metodologia utilizada na investigação em campo, com o objetivo de fornecer parâmetros de resistência para o dimensionamento do muro de arrimo.
Nos cálculos será considerado o empuxo ativo, conforme método de Rankine, solo não coesivo, onde a massa de solo adjacente se desloca e passa do estado de repouso para o estado ativo. Desse modo, se um muro de arrimo pode suportar o empuxo ativo do solo, ele não entra em colapso.
Foi necessária uma simplificação da classificação do solo, por meio de analise táctil visual em campo, resultando em uma classificação como silte argiloso.
O NSPT foi considerado como 4, em razão do estado do solo em contato com a face interna do muro de arrimo estar solto por conta da recente construção, além da equação de Mello (1975) limitar sua equação a partir deste valor. Com os dados do tipo de solo e valor do NSPT, obteve-se o peso especifico do aterro, em 15 kN/m³.
O peso especifico dos materiais conforme NBR 6120 (2019), foram considerados o concreto com 25 kN/m³ e o tijolo cerâmico com 13 kN/m³.
O fator de segurança para as análises de estabilidade do presente estudo foi escolhido conforme o preconizado na norma ABNT NBR 11682 (2009) em função dos níveis de segurança contra perda de vidas humanas, ela define no item 7.3.3.2 os critérios de dimensionamento e regulamenta no item 7.3.7.2, as verificações de segurança para muros de arrimo. Nos casos de estabilidade de muros de arrimo, devem ser atendidos os fatores da Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes para as verificações de estabilidade conforme NBR 11682 (2009)

Verificação da segurança	Tombamento ($FS_{, tombamento}$)	Deslizamento na base ($FS_{, escorregamento}$)	Capacidade de carga da fundação
Fator de segurança mínimo	2,0	1,5	3,0

Fonte: Adaptado pelos autores da NBR 11682 (2009).

Durante a visita in loco, o solo estava com altura de aproximadamente 2,0 metros. Entretanto, por conta de o terreno vizinho estar em declive, foi considerado que o muro de arrimo gradativamente seria acrescido de carga conforme os períodos chuvosos ocorressem, acumulando aterro junto ao muro de arrimo, aumentando a altura atuante e consequentemente, a carga aplicada no muro de arrimo. Portanto, além do estado do muro de arrimo após a construção, calculou-se hipóteses de carga de aterro nas condições de 2,50 m, 3,00 m, 3,50 m e 4,00 m. Os fatores de segurança foram calculados conforme as Equações 1 e 2 e comparados com os da Tabela 1 acima.

$$F_{s,\,escorregamento} = \frac{\sum F_{Resistente}}{\sum F_{Solicitante}} \quad (1)$$

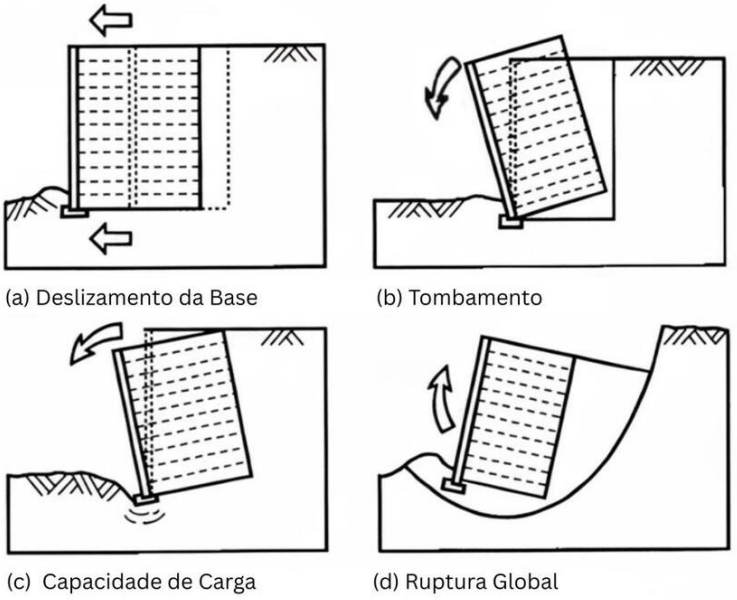
Onde:
$F_{s,\,escorregamento}$ = é o valor do fator de segurança ao escorregamento;
$\sum F_{Resistente}$ = é o somatório dos esforços resistentes;
$\sum F_{Solicitante}$ = é o somatório dos esforços solicitantes, que tendem a causar o deslizamento;

$$F_{s,\,tombamento} = \frac{\sum M_R}{\sum M_A} \quad (2)$$

Onde:
$F_{s,\,tombamento}$ = é o valor do fator de segurança ao tombamento;
M_R = é o valor do momento resistente;
M_A = é o valor do momento atuante;

A Figura 1 ilustra o comportamento dos coeficientes de estabilidade da norma em situações praticas:

Figura 1 – Verificações de estabilidade conforme NBR 11682 (2009).



Legenda: (a) deslizamento: estabilidade na base do muro de arrimo (b) tombamento: resistência do muro de arrimo a girar. (c) capacidade de carga: resistência do solo sob a fundação (d) estabilidade global: verificação de ruptura de toda a encosta, incluindo o muro.

Fonte: os autores.

Segundo a NBR 6122 (2022), a tensão admissível deve ser fixada a partir da utilização e interpretação de um ou mais dos procedimentos abaixo: (a) prova de carga sobre placa; (b) métodos teóricos; (c) métodos semiempíricos. No presente trabalho, foi utilizado a Equação 3 de Mello (1975), pois a correlação não faz distinção entre o tipo de solo ao ser utilizado, apenas com restrições ao NSPT, não devendo ser adotado valores de NSPT inferiores a 4 ou superiores a 16, em Mpa:

$$\sigma_{adm} = 0{,}1\,.\,(\sqrt{NSPT} - 1) \tag{3}$$

Onde:
σ_{adm} = tensão admissível;
NSPT = indice de resistência à penetração;

Com os dados do NSPT, obteve-se uma tensão admissível de 100 KPa.
O ângulo de atrito utilizado foi a Equação 4, do método de Godoy:

$$\phi = 28º + 0{,}4\,.\,N_{SPT} \tag{4}$$

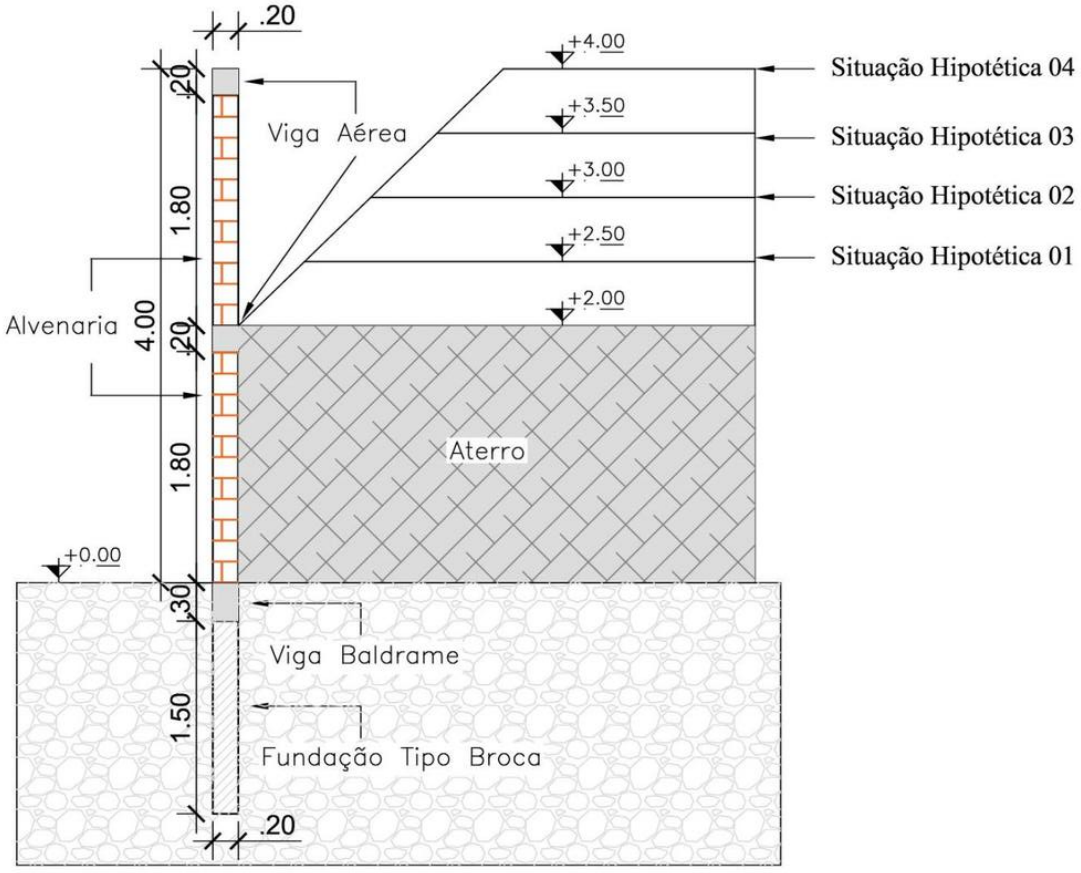
Onde:
ϕ = ângulo de atrito;
NSPT = índice de resistência à penetração;

Com os dados do tipo de solo e valor do NSPT, obteve-se o ângulo de atrito em 29,60º.

2.1.1 Dados obtidos na visita técnica

Os dados geométricos do muro de arrimo foram obtidos com base em medições em campo.
A geometria do muro de arrimo possui comprimento de 20,0 metros, com altura de 4,0 metros e espessura de 0,20 metros. O muro de arrimo possui estrutura de concreto armado, com fechamento em alvenaria de tijolos 8 furos, pilares e vigas espaçados a cada 2,0 metros e com seção transversal de 20x20 cm e 4 barras de 10 mm de diâmetro (As=3,14 cm²), ambos.
A alvenaria de fechamento foi executada com o tijolo deitado (assentada como uma vez)
Sobre a fundação, ela foi executada do tipo broca escavada com diâmetro de 30 centímetros e profundidade de 1,50 metro.
A Figura 2 ilustra o muro de arrimo e as situações hipotéticas:

Figura 2 – Croqui com situação real e hipóteses



Fonte: os autores, 2026.

2.1.2 Local e cronologia dos acontecimentos

O local estudado no presente trabalho se encontra no município de Campo Grande/MS, em condomínio residencial de casas térreas de médio padrão, com 40 unidades. Conforme relatos, o muro de arrimo antigo possuía mais de 10 anos construído. Porém, após forte período de chuvas, não suportou a elevação de carga e teve sua ruptura ocorrida em abril de 2024.
Após o fato ocorrido, houve uma assembleia de emergência e foi aprovado a construção do trecho colapsado de maneira urgente, sendo finalizado em julho de 2024.

Após a construção do novo muro de arrimo, foi realizada visita técnica e levantamento de medidas em novembro de 2024, para analise de atendimento dos parâmetros indicados pelas normas vigentes. A Figura 3 apresenta a sequência dos acontecimentos:

Figura 3 – Evolução dos acontecimentos



Legenda: (1): condição inicial do muro de arrimo; (2-3): registro do primeiro colapso estrutural; (4-6): processo de reconstrução com técnicas de reparo e reforço; (7): muro de arrimo construído após a intervenção; (8) evidências de nova instabilidade estrutural à beira de ruptura; (9): segundo colapso de muro de arrimo no local.

Fonte: os autores, 2025.

2.1.3 Limitações do estudo

Este estudo procurou investigar as condições em que o muro de arrimo se encontra na ausência de sondagem geotécnica a percussão SPT, caracterização do solo ou granulometria. Consequentemente, não é possível estender os resultados obtidos para nenhuma outra situação, pois foi necessário adotar simplificações nos dados a respeito do solo, como: tipo, peso específico, NSPT, entre outros. Portanto, é necesario investigação geotécnica atendendo a NBR 6484 (2020).

Nas hipoteses, o empuxo ativo foi calculado apenas com o aumento na espessura da camada de solo, sem aumento do valor do peso específico em situações de umidade ou saturação, ou seja, simples acrescimo de carga consequente ao deslocamento de terra durante as chuvas.

2.2 Materiais

O levantamento de dados, as características físicas e aferição de medidas da estrutura com posterior registro fotográfico das patologias existentes foram realizados com tais materiais:

- Trena eletrônica à laser Bosch GLM 40;
- Trena 5m;
- Prancheta para folha formato A4;
- Folha formato A4 para croqui da estrutura;
- Aparelho celular para registro fotográfico.

3. RESULTADOS

Foi realizado dimensionamento em cinco situações, sendo obtido para as condições de estabilidade, a seção transversal de aço (As) e as tensões atuantes no solo da fundação, os seguintes valores conforme a Tabela 2:

Tabela 2 – Verificações de estabilidade conforme NBR 11682 (2009)

Dados	Situação Atual	Hipótese 01	Hipótese 02	Hipótese 03	Hipótese 04
h_{aterro} (m)	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
FS, escorregamento	1,91	1,22*	0,85*	0,62*	0,48*
FS, tombamento	4,31	2,21	1,28*	0,8*	0,54*
AS (cm²/m)	2,76	5,46	9,57	15,7	24,46
σ_{maxima} (kPa)	92,65	131,39	189,19	269,85	377,19
σ_{minima} (kPa)	59,35	20,61	-37,19	-117,85	-225,19

Legenda: (*): situação inconforme com a NBR 11682; (h_{aterro}):altura do aterro; ($FS_{, escorregamento}$): fator de segurança ao escorregamento; ($FS_{, tombamento}$): fator de segurança ao tombamento; (As): área de aço do pilar; (σ_{maxima}): tensão máxima aplicada pelo muro de arrimo; (σ_{minima}): tensão mínima aplicada pelo muro de arrimo;
Fonte: os autores, 2025.

Conforme Tabela 2 acima, a atual situação do muro de arrimo encontra-se dentro dos parâmetros desejados, como os fatores de segurança, tensão na fundação e armadura de aço dos pilares. Recorda-se que o fator de segurança ao tombamento é 2,0, o fator de segurança ao escorregamento é 1,5, a tensão admissível do terreno é 100 kPa e os pilares foram executados com 3,14 cm² de armadura, sendo 4 barras de 10 mm.

Entretanto, já na hipótese 01, com acréscimo de 50 centímetros de solo a situação atual, ele não atenderá ao fator de segurança ao escorregamento, a armadura necessária resultaria em 7 barras de 10 mm e o solo da fundação teria sua tensão admissível superada, resultando em recalques excessivos (afundamento), ruptura do solo ou falha estrutural catastrófica.

Da hipótese 02 em diante, com acréscimo de 100 centímetros de solo a situação atual ou mais, o muro de arrimo não atenderia a nenhum parâmetro desejado, inclusive ao fator de segurança ao tombamento e a tensão do solo, que precisaria de revisão na tensão máxima pelo fato do solo não resistir a tração (tensão mínima com valor negativo), o que acarretaria em um aumento.

3.1 Planilha

A utilização de software trouxe para a engenharia celeridades nos cálculos e assertividade nos valores calculados. Baseado nessa realidade, foi utilizado o Microsoft Excel com o intuito de desenvolver uma planilha de verificações dos Muros de Arrimo. A Figura 4 apresenta o link e QR Code para acessar a planilha desenvolvida neste trabalho. Recomenda-se que seja feito o download da planilha para um melhor aproveitamento de toda as funções disponibilizadas pela ferramenta.

Figura 4 – QRCode e link para acesso à planilha

https://drive.google.com/drive/folders/1S-mW7xCOi1TZAEQX-xSvbOqs-QL23KsR?usp=sharing

Fonte: os autores, 2025.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme já citado anteriormente, para a verificação de um muro de arrimo, seja qual for a sua seção, devem ser investigadas as condições de estabilidade: escorregamento, tombamento e capacidade de carga da fundação (Gonçalves Júnior, 2025). A avaliação dessas quatro condições é essencial para garantir a segurança da estrutura e a durabilidade do muro de arrimo, evitando falhas que podem resultar em prejuízos financeiros, riscos à vida humana e impactos no entorno da obra. Caputo e Caputo (2022) alertam que “o assunto é um dos mais complexos em solos, pois até hoje nenhuma teoria geral pôde ser elaborada, todas as teorias propostas admitem hipóteses simplificadoras, apesar dos esforços de inúmeros pesquisadores e notáveis matemáticos e físicos”. Embora após os cálculos da situação atual indiquem conformidade com a norma, foi possível constatar que em todas as hipóteses levantadas o muro de arrimo poderá colapsar. Vale ressaltar que as hipóteses levantadas tendem a ocorrer gradativamente, especialmente as hipóteses 01 e 02, dada as condições em declive do terreno vizinho.

O fator de segurança ao escorregamento não está conforme em nenhuma das hipóteses e o fator de segurança ao tombamento só estaria conforme na hipótese 01. Isso se dá devido a grande carga aplicada de empuxo e a pouca espessura do muro de arrimo. Como solução ao problema, podemos utilizar o pré dimensionamento de Marchetti (2007) para redimensionar as medidas do muro de arrimo, onde a base teria de largura no mínimo 10% da altura, assim como a espessura da base teria 10% da altura e o muro teria formato em L, com a parte horizontal voltada para o condomínio, também com 10% da altura e com no mínimo de 30 cm de solo posteriormente sobre ele. Uma outra alternativa estrutural de Marchetti (2007), seria o emprego de contrafortes de concreto armado (mão francesa), com 15 a 20 cm de espessura, espaçados entre 40% a 60% da altura, voltada para o condomínio, o que reduziria parte da área útil do quintal do imóvel em estudo.

Silva (2025) analisou o fator de segurança contra o tombamento no verão e no inverno, sendo o fator no inverno 17,6% do fator no verão. Já a respeito do escorregamento, o fator no inverno foi de 15,9% do fator no verão. A queda nos fatores de segurança em cenários úmidos está diretamente relacionada à diminuição da coesão do solo com o aumento da umidade, o que pode provocar deslizamentos de terra.

Em relação a armadura de aço necessária (As), uma alternativa seria a redução do espaçamento dos pilares do muro de arrimo para diminuição do momento fletor, passando dos atuais 2,0 metros para 1,0 metro. Embora a NBR 6118 (2026) não especifique o espaçamento dos pilares para muros de arrimo de baixa altura, essa alternativa reduziria metade da carga atuante.

Sobre a tensão do solo de fundação, não está conforme em nenhuma das hipóteses, pois há um acumulo de tensão devido a base possuir apenas 20 centímetros. Como solução ao problema, podemos utilizar a mesma solução dos fatores de segurança, utilizando o pré dimensionamento de Marchetti (2007) para redimensionar as medidas do muro de arrimo, aumentando-as.

A respeito da drenagem do muro de arrimo, Caputo e Caputo (2022) citam sobre a importância "a fim de evitar o acúmulo das águas pluviais infiltradas no lado do maciço de solo, é de boa técnica prever um sistema de drenagem dessas águas." Diversos autores descrevem as consequências sobre a falta de sistema de drenagem, como Herrero (2024) cita que a drenagem se faz necessária para assegurar que o muro permaneça seguro e firme. Silva e Costa (2016) relatam que o mau desempenho da drenagem pode aumentar cerca de 87% o empuxo total do muro de arrimo.

Sobre os acidentes com muro de arrimo, os autores Silva e Costa (2016) pesquisaram que na década de 80 já havia preocupação com estruturas de arrimo, onde a organização Francesa Bureau Securitas publicou em 1971, uma estatística de acidentes de estruturas de arrimo, demonstrando que cerca de 33% dos sinistros com muro de arrimo eram decorrentes da deficiência do sistema de drenagem da obra de contenção. Na mesma linha Genário *et al*. (2020, apud Ribeiro e Augusto, 2023), citam que grande parte dos acidentes envolvendo muros de arrimo está relacionada ao acúmulo de água no maciço, pois, conforme Ishimoto (2023 apud Herrero, 2024) descreve, pode causar diversos danos, como rachaduras e até mesmo o colapso da estrutura. Andrades-Filho *et al* (2025) pesquisaram sobre o pior desastre socioambiental da história do Rio Grande do Sul, destacando como desmatamento e ocupação urbana os principais fatores contribuintes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na condição atual, a verificação da estabilidade do muro de arrimo atende aos fatores de segurança e tensão no solo. Entretanto, conforme as hipóteses descritas, ele não atenderá nenhuma das hipóteses calculadas conforme ocorrer o aumento gradativo da espessura do solo em contato com o muro de arrimo.

A implementação dos reforços estruturais e a construção de um sistema de drenagem para o muro são propostas que garantirão a integridade, segurança e estabilidade da estrutura.

Infelizmente ao final do presente estudo, em novo período de chuvas, o muro de arrimo colapsou.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2026. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, agosto de 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120:2019. **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, setembro de 2019.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122:2022. **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, setembro de 2019.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681:2025. **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro, março de 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682:2009. **Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, setembro de 2009.

ALVES, Pedro Jorge; LIMA, Ricardo Carvalho de Andrade; EMANUEL, Lucas. Natural disasters and establishment performance: evidence from the 2011 rio de janeiro landslides. Regional Science And Urban Economics, [S.L.], v. 95, p. 103761, jul. 2022. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2021.103761.

ANDRADES-FILHO, *et al*. **The biggest landslide event in Brazil: preliminary analysis of the rio grande do sul mega disaster in may 2024.** Landslides, [S.L.], v. 22, n. 11, p. 3615-3624, 28 ago. 2025. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s10346-025-02587-8.

BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. **Institui o Código Civil**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jan. 2002.

CAPUTO, Homero P.; CAPUTO, Armando N. **Mecânica dos Solos: Obras de Terra e Fundações.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022. E-book. pág.144. ISBN 9788521638018. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521638018/. Acesso em: 04 fev. 2026.

CAVALCANTI, Tallitta Mabelly Dantas; OLIVEIRA, Julio Cesar Almeida Nascimento; RIBEIRO, Maria Izabel de Paula. **Estabilização de taludes Através da Utilização de Muros de Arrimo**. Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 45-62, jan. 2021.

GONÇALVES JÚNIOR, Marcelo Mário. **Analise geométrica e dimensionamento de muros de arrimo por flexão em concreto armado**. 2025. 83 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2025.

HERRERO, G. A.; DUQUE, J. H. R.; BRITO, L. M. dos S.; JULIO, V. F. de C. F.; ANDRADE, L. B. **Muro de arrimo e drenagem: uma abordagem prática em engenharia civil.** REVISTA DELOS, [S. l.], v. 17, n. 61, p. e2566, 2024. DOI: 10.55905/rdelosv17.n61-038. Disponível em: https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/2566. Acesso em: 21 abr. 2026.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Muros de Arrimo**. São Paulo: Blucher, 2007. 141 p.

RIBEIRO, Kátia Daniela; AUGUSTO, Carlos Henrique José. **Investigação patológica e análise de estabilidade de um muro de arrimo em concreto armado**. Revista de Engenharia Civil Imed, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 56, 30 jun. 2023. Complexo de Ensino Superior Meridional S.A.. http://dx.doi.org/10.18256/2358-6508.2022.v9i1.4391

SILVA, Leilane de Almeida; COSTA, Antônio Carlos. **A influência da eficiência do sistema de drenagem na análise de estabilidade do Muro de Arrimo**. Mostra Poli/Upe, Recife, v. 2, n. 1, p. 100-110, 08 dez. 2016. Anual.

SILVA, Leilane de Almeida. **Comparação do muro de arrimo drenando e não drenado a importância do sistema de drenagem nos solos de Recife/PE**. Revista Ft, [S.L.], v. 29, n. 147, p. 05-06, 2 jun. 2025. Revista ft Ltda. http://dx.doi.org/10.69849/revistaft/cl10202506021805. Disponível em: https://revistaft.com.br/comparacao-do-muro-de-arrimo-drenado-e-nao-drenado-a-importancia-do-sistema-de-drenagem-nos-solos-de-recife-pe/. Acesso em: 21 abr. 2026.

CAPÍTULO 88 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/phj05j71
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/r3y41r22

PROSPECÇÃO CIENTÍFICA DA ENGENHARIA DIAGNÓSTICA APLICADA AO CONCRETO ARMADO UTILIZANDO UMA TAXONOMIA MULTIFACETADA

Francisco Luiz Campos Lopes[1]*, Fernando do Couto Rosa Almeida[2]
*Autor de contato: *francisco.campos.lopes@gmail.com*

[1] DIAVICON, Belo Horizonte, Brasil
[2] DEMC UFMG, Belo Horizonte, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise bibliométrica da produção científica relacionada à engenharia diagnóstica aplicada a estruturas de concreto armado. A pesquisa foi conduzida utilizando uma taxonomia científica multifacetada, composta por cinco dimensões conceituais: verbo de ação, objeto, contexto, fenômeno e indicador, utilizada para estruturar equações de busca em bases de dados científicas. A coleta de dados foi realizada na base de dados Scopus, considerando publicações entre 1970 e 2025, resultando em um conjunto de 5.170 artigos científicos. Os resultados indicam um crescimento significativo da produção científica nas últimas décadas, refletindo a preocupação crescente com a durabilidade das estruturas e o envelhecimento das infraestruturas. A análise temática revelou predominância de estudos relacionados à corrosão das armaduras, ao transporte de íons cloreto e à durabilidade do concreto, com destaque para a corrosão induzida por cloretos como uma das principais linhas de investigação. A análise geográfica mostrou concentração de publicações em países como a China, os Estados Unidos e países europeus, enquanto o Brasil apresenta participação relevante, com maior presença de estudos sobre carbonatação. Observa-se ainda uma tendência crescente de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de concretos mais duráveis e de menor permeabilidade, visando reduzir a penetração de agentes agressivos. Os resultados contribuem para compreender as tendências de pesquisa na área e demonstram a utilidade da taxonomia científica proposta para estudos de mapeamento.
Palavras-chave: Durabilidade do Concreto, Engenharia Diagnóstica, Corrosão das Armaduras, Análise bibliométrica, Prospecção tecnológica.

ABSTRACT

This study presents a bibliometric analysis of the scientific literature on diagnostic engineering applied to reinforced concrete structures. The research was conducted using a multifaceted scientific taxonomy, composed of five conceptual dimensions: action verb, object, context, phenomenon, and indicator, which was used to structure search equations in scientific databases. Data collection was conducted in the Scopus database, covering publications from 1970 to 2025, yielding a dataset of 5,170 scientific articles. The results indicate significant growth in scientific production over the last few decades, reflecting increased concern with structural durability and the aging of infrastructure systems. The thematic analysis revealed a predominance of studies on reinforcement corrosion, chloride-ion transport, and concrete durability, highlighting chloride-induced corrosion as a key research topic. The geographical analysis showed a concentration of publications in countries such as China, the United States, and several European nations, while Brazil also makes a significant contribution, with a greater presence of studies on carbonation. Additionally, a growing research trend focused on developing more durable, less permeable concrete was observed, aiming to reduce the penetration of aggressive agents. The results contribute to understanding research trends in the field and demonstrate the usefulness of the proposed scientific taxonomy as a tool for scientific mapping studies

Keywords: Concrete durability; Diagnostic Engineering; Reinforcement corrosion; Bibliometric analysis; Technological prospecting.

1. INTRODUÇÃO

A engenharia diagnóstica é frequentemente tratada como um campo recente na engenharia civil. De fato, a consolidação dos termos “engenheiro diagnóstico” ou “engenheiro patologista” no mercado da construção é relativamente recente, associada à crescente necessidade de investigar, avaliar e prolongar a vida útil das estruturas. Apesar do nome, a engenharia diagnóstica não se limita ao diagnóstico, entendido como a identificação de causas, origens e mecanismos das anomalias, mas abrange um conjunto mais amplo de atividades, incluindo a coleta de dados, a investigação, a análise de conformidade, a avaliação de riscos e a prescrição de soluções. Conforme exposto por Gomide (2021), trata-se de uma disciplina orientada à criação de ações proativas, integrando diagnóstico, prognóstico e recomendações técnicas para assegurar o desempenho e a qualidade das construções.

Entretanto, a preocupação com a responsabilidade técnica em relação às construções acompanha a humanidade há milênios. Um exemplo clássico encontra-se no Código de Hamurabi, de Babilônia, de 1750 a.C., considerado um dos primeiros conjuntos de leis escritos da história. Nesse código, já se estabelecia a responsabilidade do construtor pela segurança das edificações: caso uma casa construída por um construtor ruísse e causasse a morte do proprietário, o construtor deveria ser condenado à pena de morte.

Esse registro histórico evidencia que, desde as civilizações antigas, a sociedade reconhece a necessidade de avaliar falhas construtivas e de determinar responsabilidades técnicas. Ainda que de forma rudimentar, tal necessidade implica um processo de investigação das causas do colapso, configurando uma forma embrionária do que hoje se denomina engenharia diagnóstica.

Ao longo do tempo, essa área passou a ser frequentemente comparada à medicina, uma vez que envolve atividades análogas ao diagnóstico clínico: inspeção, análise de sintomas, investigação das causas e definição de tratamentos. O envelhecimento natural das infraestruturas, aliado à crescente complexidade das construções e às exigências normativas contemporâneas (NBR 15575, 2025), tem elevado a relevância dessa área. Atualmente, aspectos como sustentabilidade, otimização de recursos, preservação patrimonial e segurança estrutural reforçam a necessidade de monitoramento contínuo das edificações e das obras de infraestrutura.

No contexto dos materiais estruturais, o concreto de cimento Portland tornou-se um dos principais materiais utilizados na construção civil a partir do final do século XIX, especialmente após a introdução do concreto armado. Desde então, estruturas de concreto passaram a compor grande parte das edificações e das infraestruturas modernas, incluindo pontes, barragens e edifícios.

No Brasil, o uso do concreto armado consolidou-se ao longo do século XX. Muitas dessas estruturas encontram-se atualmente em estágios avançados de envelhecimento, o que tem levado ao surgimento de diversas manifestações patológicas, como fissuração, corrosão das armaduras e destacamento do cobrimento. Esses fenômenos têm impulsionado o desenvolvimento de estudos sobre a durabilidade do concreto e a patologia das construções (HELENE, 1993; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Historicamente, a engenharia diagnóstica evoluiu de uma prática predominantemente reativa, baseada na análise de falhas após a ocorrência de danos, para uma disciplina estruturada em métodos científicos de investigação e de manutenção preventiva. Um marco importante nessa

evolução foi a introdução e o desenvolvimento dos Ensaios Não Destrutivos (ENDs), que possibilitaram a avaliação das condições internas das estruturas sem comprometer sua integridade.

Nas últimas décadas, o avanço das tecnologias digitais ampliou significativamente as possibilidades dessa área. O desenvolvimento de sistemas de monitoramento estrutural, de modelagem numérica e de métodos baseados em inteligência artificial tem permitido análises mais precisas do comportamento e da degradação das estruturas.

Apesar dos avanços na área, observa-se que a literatura ainda apresenta limitações na organização sistemática do conhecimento, especialmente na integração entre diferentes dimensões da engenharia diagnóstica, como técnicas de inspeção, fenômenos de degradação e indicadores de desempenho. Além disso, há uma carência de abordagens estruturadas que permitam identificar não apenas tendências, mas também lacunas e inter-relações entre os diferentes elementos que compõem o processo de diagnóstico estrutural. Nesse contexto, torna-se relevante o desenvolvimento de metodologias capazes de organizar e interpretar o conhecimento científico de forma integrada.

Diante desse contexto de rápida evolução tecnológica e da crescente demanda por soluções para a manutenção e prolongamento da vida útil das estruturas, torna-se fundamental compreender o estágio atual de desenvolvimento científico e tecnológico da área. Assim, o presente artigo tem como objetivo avaliar o estado da arte da produção científica relacionada à engenharia diagnóstica aplicada ao concreto armado e aos ensaios não destrutivos, utilizando uma abordagem baseada em uma taxonomia científica multifacetada. Busca-se identificar tendências de pesquisa, temas emergentes e a evolução da produção científica na área.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa adotou uma abordagem bibliométrica, baseada em uma taxonomia científica multifacetada, estruturada para organizar e sistematizar o conhecimento produzido na área de engenharia diagnóstica, com foco em concreto armado e ENDs. Essa estrutura taxonômica permite decompor o campo tecnológico em diferentes dimensões analíticas, possibilitando a construção de equações de busca mais abrangentes e representativas da área investigada.

A taxonomia proposta organiza os termos em cinco pilares conceituais:

1. **Verbo de ação (V)**: representa a atividade ou operação realizada no estudo, indicando o tipo de procedimento aplicado;
2. **Objeto (O)**: corresponde à entidade, sistema ou elemento sobre o qual a ação é realizada, delimitando o foco material ou conceitual da investigação;
3. **Contexto (C):** define o domínio temático ou área de conhecimento em que o estudo está inserido, fornecendo o enquadramento conceitual da análise;
4. **Fenômeno (F):** refere-se ao processo, mecanismo ou manifestação que ocorre no objeto e constitui o foco da investigação científica;
5. **Indicador (I):** corresponde à variável, parâmetro ou métrica utilizada para observar, medir ou quantificar o fenômeno ou material analisado.

A organização do conhecimento em múltiplas dimensões permite identificar inter-relações entre técnicas de investigação, fenômenos de degradação e propriedades estruturais analisadas na literatura científica.

2.1 Estrutura da Taxonomia

A taxonomia foi construída a partir da análise exploratória da literatura sobre patologia das construções, engenharia diagnóstica e durabilidade do concreto. A partir dessa análise, selecionaram-se termos representativos de cada dimensão da taxonomia.

Quadro 1 – Taxonomia científica baseada na literatura

Verbo de Ação	Objeto	Contexto	Fenômeno	Indicador
Inspeção	Estrutura	Manifestações Patológicas	Corrosão	Teor de Contaminantes
Mapeamento	Concreto	Patologia	Lixiviação	Difusão
Monitoramento	Concreto Armado	Durabilidade	Carbonatação	Absorção Capilar
Diagnóstico	Concreto Protendido	Gêmeo Digital	Cloreto	Georadar
Testes	Ponte	Ensaios Não Destrutivos	Sulfatos	Ultrassom
Manutenção	Barragem	Inteligência Artificial	Reação Álcalis Agregados	Ultrassonografia
Modelagem	Predial	Machine Learning		Resistividade
Recuperação	Pilar	Deterioração		Potencial De Corrosão
Reforço	Viga	Degradação		Esclerometria
Investigação	Fundação	Estrutural		Corrente De Corrosão
Análise	Infraestrutura			Esclerômetro
				Termografia

Com base na taxonomia realizada, foi concebida a estratégia de busca, combinando termos dos cinco pilares conceituais. Para garantir abrangência e consistência na recuperação dos registros, foram utilizados operadores booleanos (*AND* e *OR*), permitindo combinar sinônimos em cada dimensão taxonômica e, simultaneamente, relacionar as diferentes dimensões entre si. A equação 1 apresenta a equação geral de busca:

$$(V1\ OR\ V2\ OR\ \ldots\ OR\ Vn)\ AND\ (O1\ OR\ O2\ OR\ \ldots\ OR\ On)\ AND\ (C1\ OR\ C2\ OR\ \ldots\ OR\ Cn)\ AND\ (F1\ OR\ F2\ OR\ \ldots\ OR\ Fn)\ AND\ (I1\ OR\ I2\ OR\ \ldots\ OR\ In) \quad (1)$$

Essa estratégia permitiu recuperar publicações científicas que abordem simultaneamente diferentes dimensões do conhecimento técnico da engenharia diagnóstica, garantindo maior precisão temática na construção do banco de dados analisado.

Após a aplicação das equações de busca nas plataformas selecionadas, os registros obtidos foram exportados em formato estruturado, contendo metadados como título, autores, ano de publicação, palavras-chave, afiliação institucional e país de origem.

A base de dados científica utilizada foi a Scopus, uma das maiores bases de indexação de literatura científica revisada por pares. A plataforma reúne periódicos, anais de congressos, capítulos de livros e outros tipos de produção acadêmica de diversas áreas do conhecimento.

Foram aplicados filtros relacionados às áreas de “Engineering” e “Materials Science”, além da exclusão de documentos duplicados e registros incompletos. A busca foi restrita a títulos, resumos e palavras-chave, garantindo maior aderência temática aos objetivos da pesquisa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise Bibliométrica das produções científicas

Com base na metodologia proposta, os resultados obtidos foram organizados em análises bibliométricas relacionadas à frequência de termos, à evolução temporal da produção científica e à distribuição geográfica das publicações.

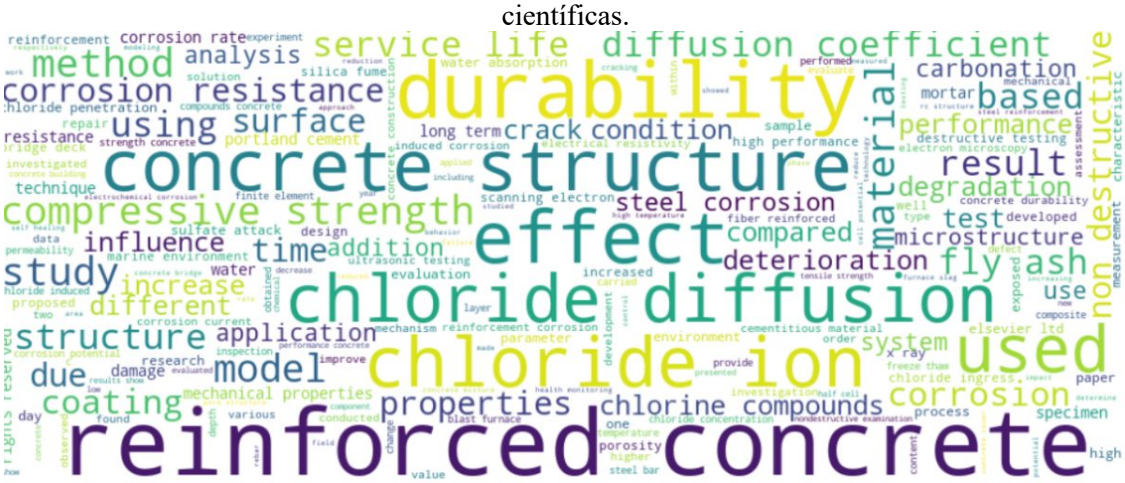
A análise inicial considerou todo o escopo temporal das publicações indexadas na base Scopus, abrangendo o período de 1970 a 2025. Essa etapa teve como objetivo avaliar a evolução histórica da produção científica relacionada à engenharia diagnóstica aplicada a estruturas de concreto armado, bem como identificar tendências de crescimento e o grau de maturidade do campo tecnológico.

A partir da aplicação da taxonomia científica multifacetada apresentada no Quadro 1 e da equação geral de busca definida na Equação (1), foram recuperados 5.170 artigos científicos. Esse conjunto de documentos constituiu a base para as análises bibliométricas subsequentes.

3.2 Análise por Nuvem de Palavras

A Figura 1a apresenta a nuvem de palavras elaborada com base nos termos mais recorrentes nos títulos, resumos e palavras-chave das publicações analisadas. Esse tipo de visualização permite identificar, de forma exploratória, os principais temas abordados na literatura científica.

Figura 1 - Nuvem de palavras considerando o título, o resumo e as palavras-chave das produções científicas.



Fonte: o autor.

Observa-se a predominância de termos relacionados à durabilidade, corrosão, desempenho e íons cloreto, evidenciando que grande parte das pesquisas está concentrada na investigação dos mecanismos clássicos de deterioração do concreto armado. Esse resultado é consistente com a literatura especializada, que aponta a corrosão das armaduras induzida por íons cloreto como um dos principais mecanismos de degradação de estruturas de concreto, especialmente em ambientes marinhos ou expostas a agentes agressivos (BROOMFIELD, 2007; MEHTA; MONTEIRO, 2008).

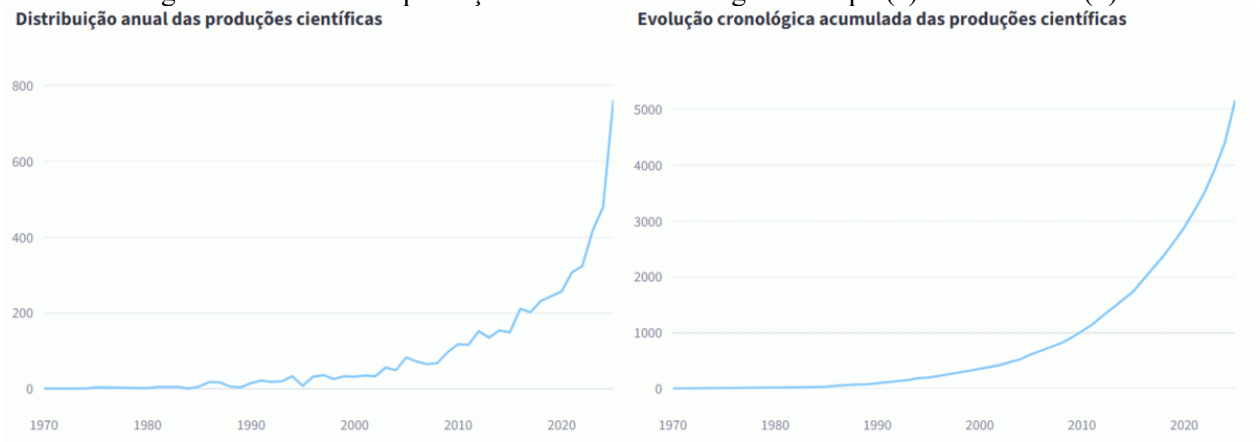
Essa concentração temática também sugere uma possível assimetria no desenvolvimento científico da área, com menor ênfase em aspectos relacionados à tomada de decisão, às estratégias de intervenção e à gestão da vida útil das estruturas. Embora haja avanços significativos na

compreensão dos fenômenos de degradação, persiste uma lacuna na tradução desse conhecimento em soluções aplicadas, especialmente no contexto da engenharia diagnóstica voltada à prescrição de intervenções.

3.3 Análise bibliométrica ao longo do tempo

A Figura 2a apresenta a evolução temporal das publicações científicas relacionadas à engenharia diagnóstica aplicada a estruturas de concreto armado e a ensaios não destrutivos ao longo do período analisado (1970–2025), enquanto a Figura 2b apresenta a evolução cumulativa.

Figura 2 - Análise das produções científicas ao longo do tempo (a) e cumulativa (b).



(a) (b)

Fonte: o autor.

Observa-se que, até o final da década de 1980, o número de publicações era relativamente reduzido, refletindo o estágio inicial de desenvolvimento das pesquisas relacionadas à durabilidade do concreto e aos métodos de inspeção estrutural.

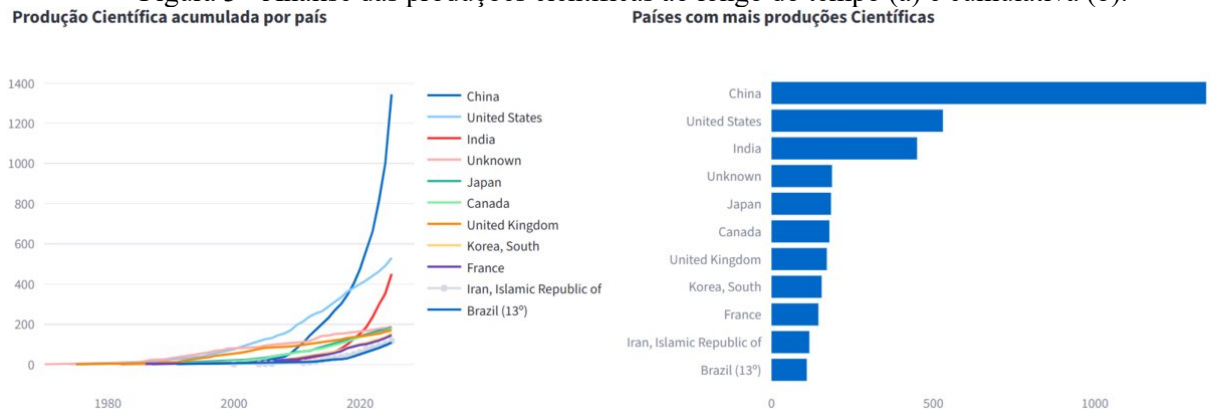
A partir da década de 1990, verifica-se um crescimento progressivo da produção científica, impulsionado pelo avanço dos estudos sobre os mecanismos de deterioração do concreto, particularmente os processos de carbonatação e de corrosão induzida por cloretos.

O crescimento exponencial observado a partir dos anos 2000 não apenas reflete o aumento da produção científica, mas também está diretamente associado à transformação tecnológica da área, marcada pela ampliação do uso de ensaios não destrutivos, de sistemas de monitoramento estrutural e, mais recentemente, de abordagens baseadas em dados e em inteligência artificial. Esse comportamento indica uma transição da engenharia diagnóstica de um modelo predominantemente reativo para um modelo orientado à predição e ao monitoramento contínuo, alinhado às demandas contemporâneas de gestão da vida útil das infraestruturas.

3.4 Análise da produção científica por países

A Figura 3 apresenta a distribuição da produção científica por país, tanto em termos de evolução acumulada (a) quanto em número absoluto de publicações (b). Observa-se uma forte concentração da produção científica em poucos países, com destaque para a China, que apresenta crescimento exponencial ao longo do tempo, principalmente a partir de 2010, e ocupa a primeira posição de forma expressiva. Esse comportamento indica um elevado investimento em pesquisa e desenvolvimento, bem como uma priorização estratégica da temática relacionada à durabilidade e diagnóstico de estruturas de concreto.

Figura 3 - Análise das produções científicas ao longo do tempo (a) e cumulativa (b).



(a) (b)

Fonte: o autor.

Os Estados Unidos ocupam a segunda posição, com crescimento estável, enquanto a Índia se destaca por avanços recentes. Países como Japão, Canadá, Reino Unido e Coreia do Sul apresentam produção consistente, embora menor. Os resultados indicam uma forte concentração de publicações em países com elevada capacidade de investir em pesquisa e em infraestrutura científica. Em países industrializados, o prejuízo anual vinculado à degradação das estruturas por corrosão varia de 3,3% a 5,0% do seu PIB (IPEN, 2002; DOTTO, 2006; RIBEIRO, 2018; HOU *et al.*, 2015; KOCH *et al.*, 2016)

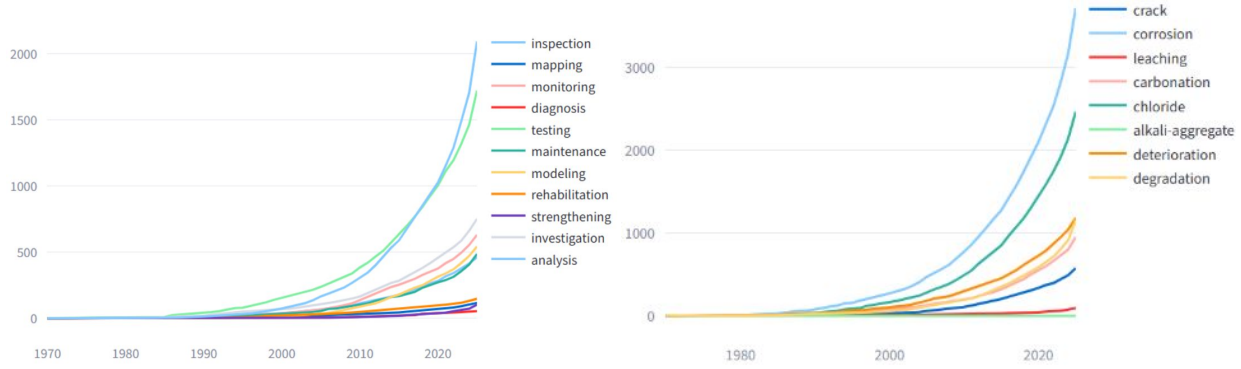
O crescimento acelerado da China sugere uma priorização estratégica da temática da durabilidade e da gestão de infraestruturas, possivelmente associada ao seu intenso processo de urbanização e expansão de obras civis.

O Brasil, na 13ª posição, ainda tem participação modesta, mas com potencial de crescimento alinhado às demandas e às condições ambientais favoráveis à pesquisa na área. Além disso, as condições ambientais brasileiras, caracterizadas por elevada umidade, temperaturas elevadas e ambientes marinhos extensos, favorecem o desenvolvimento de estudos sobre a corrosão de armaduras e a durabilidade do concreto (HELENE, 1993).

3.4 Análise da evolução dos termos taxonômicos

As Figuras 4(a) e 4(b) apresentam a evolução temporal das pesquisas com base nos verbos de ação e nos fenômenos investigados. Observa-se um crescimento acentuado da produção científica a partir dos anos 2000, com um comportamento exponencial nas últimas décadas.

Figura 4 - Evolução dos termos taxonômicos de verbos de ação (a) e fenômenos (b).



(a) (b)

Fonte: o autor.

Em relação aos verbos de ação, destacam-se “inspeção” e “ensaios/testes” (t*esting*), o que evidencia o foco predominante na avaliação estrutural. Termos como “monitoramento”, “análise” e “investigação” também apresentam crescimento significativo, indicando uma transição para abordagens mais contínuas e orientadas por dados. Por outro lado, “modelagem”, “reforço” (*strengthening*) e “reabilitação/recuperação”,(*rehabilitation)* aparecem com menor frequência, sugerindo concentração nas etapas de diagnóstico em detrimento das intervenções.

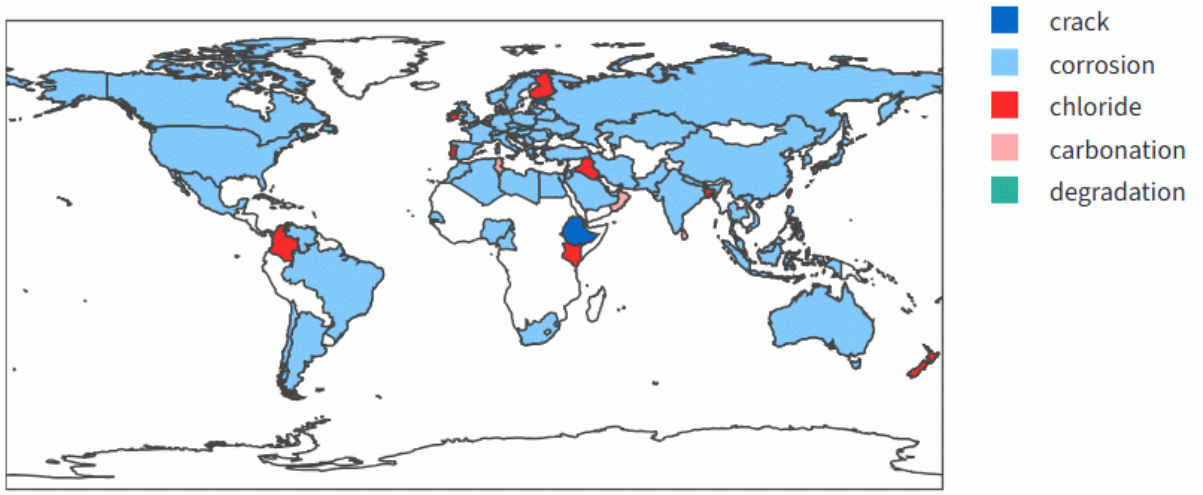
Esse resultado sugere a existência de uma lacuna estrutural na literatura, caracterizada pela baixa integração entre o diagnóstico e a tomada de decisão. Em outras palavras, a área demonstra elevada capacidade de identificar e caracterizar problemas, mas ainda apresenta limitações na transformação dessas informações em estratégias eficazes de intervenção. Tal lacuna reforça a necessidade de desenvolver abordagens integradas, capazes de conectar diagnóstico, prognóstico e prescrição de soluções, especialmente com o apoio de modelos preditivos e de ferramentas baseadas em dados.

Quanto aos fenômenos, “corrosão” e “cloretos” predominam, o que confirma seu papel central nos estudos de durabilidade do concreto armado. Temas como “carbonatação” e “degradação/deterioração” também apresentam crescimento consistente, enquanto “fissuras/trincas” (*cracks)* e “lixiviação” (*leaching)* apresentam menor representatividade.

A predominância dos termos “corrosão” e “cloretos” reforça o papel central desses fenômenos na literatura, consolidando-os como os principais mecanismos investigados na deterioração de estruturas de concreto armado. Entretanto, essa forte concentração temática pode indicar uma tendência de especialização excessiva, com potencial negligência de outros mecanismos relevantes de degradação. Esse cenário sugere a necessidade de ampliar o escopo das pesquisas, de modo a contemplar abordagens mais integradas e multifenomenológicas, especialmente em contextos reais em que múltiplos mecanismos atuam simultaneamente.

A Figura 5 apresenta a distribuição geográfica das pesquisas segundo os fenômenos investigados. Observa-se uma predominância marcante de estudos sobre “corrosão”, amplamente distribuídos em praticamente todos os continentes, o que evidencia seu papel central na literatura sobre a durabilidade do concreto armado. Essa ampla disseminação reflete a natureza universal do problema da corrosão das armaduras, associada tanto ao envelhecimento das infraestruturas quanto à exposição a ambientes agressivos.

Figura 5 - Distribuição geográfica dos termos taxonômicos de fenômenos



Fonte: o autor.

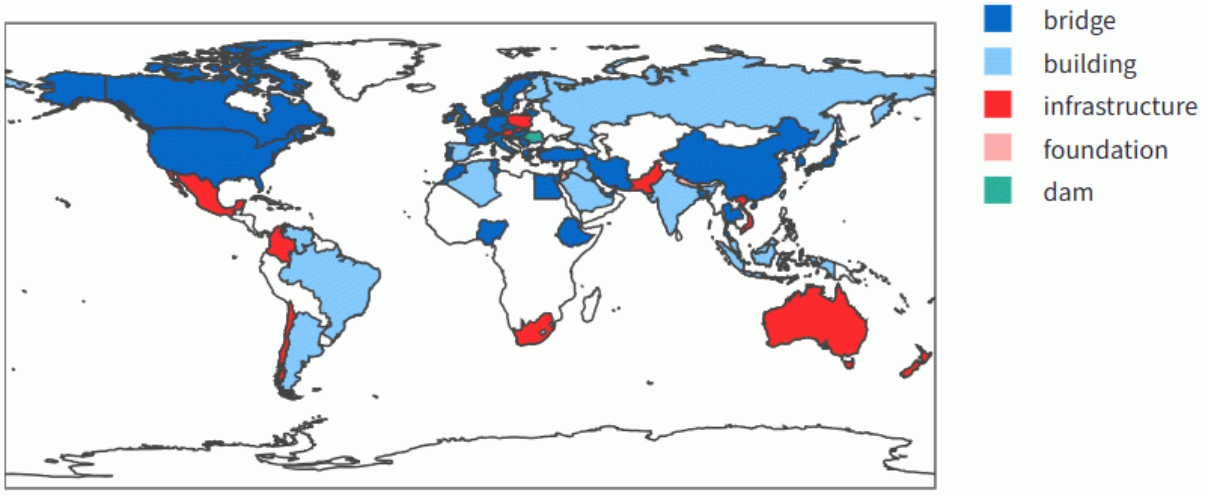
“Cloretos”, por sua vez, apresenta uma distribuição mais concentrada em regiões específicas, sugerindo uma forte relação com condições ambientais específicas, como zonas costeiras e regiões sujeitas à aplicação de sais. Já “Carbonatação” aparece de forma mais dispersa e com menor intensidade, indicando que, embora relevante, tem menor protagonismo em comparação à corrosão induzida por cloretos.

A distribuição geográfica dos fenômenos evidencia que estudos relacionados à corrosão apresentam caráter global, refletindo a universalidade desse problema em estruturas de concreto armado. Por outro lado, a concentração de estudos sobre cloretos em regiões específicas sugere forte dependência de condições ambientais, como proximidade a ambientes marinhos ou exposição a agentes agressivos. Esse comportamento reforça a importância de abordagens regionais na análise da durabilidade, uma vez que os mecanismos de deterioração não se manifestam de forma homogênea em escala global.

Por fim, fenômenos como “fissuras/trincas” e “lixiviação” apresentam baixa representatividade espacial, sugerindo que são abordados de forma mais localizada ou como temas complementares em estudos mais amplos.

A Figura 6 ilustra a distribuição geográfica das pesquisas em função dos objetos de estudo. Nota-se que estruturas como “pontes” e “prédios” apresentam ampla predominância global e são investigadas em diversos países, o que reflete sua elevada relevância econômica, social e estratégica.

Figura 6 - Distribuição geográfica dos termos taxonômicos de objeto



Fonte: o autor.

O termo “infraestrutura” aparece de forma mais concentrada em determinados países, o que indica abordagens mais abrangentes e sistêmicas, voltadas à gestão e à avaliação de redes estruturais.

Em contrapartida, objetos como “fundações” e “barragens” apresentam menor incidência geográfica, o que pode estar associado à sua natureza mais específica, à menor disponibilidade de dados ou à complexidade inerente à investigação desses objetos. De forma geral, os resultados indicam que a produção científica está concentrada em estruturas de maior impacto funcional e econômico, enquanto elementos mais especializados ainda apresentam menor exploração na literatura. Esse cenário indica oportunidades para o desenvolvimento de estudos voltados a estruturas ainda pouco exploradas, especialmente considerando sua criticidade em termos de segurança e de impacto socioeconômico.

4. CONCLUSÃO

A análise bibliométrica evidenciou um crescimento expressivo da produção científica nas últimas décadas, especialmente a partir dos anos 2000, refletindo a intensificação das preocupações com o envelhecimento das infraestruturas e a durabilidade das estruturas de concreto armado.

Verifica-se a predominância de estudos voltados à corrosão das armaduras, em especial os associados à penetração de íons cloreto, consolidando esse fenômeno como o principal foco da literatura científica. Contudo, essa concentração temática revela um possível desequilíbrio na produção científica, com menor atenção a outros mecanismos de degradação e, sobretudo, às estratégias de intervenção, como o reforço e a reabilitação estrutural.

A análise dos verbos de ação evidencia que a literatura permanece fortemente orientada para o diagnóstico, por meio de inspeção, ensaios e monitoramento, em detrimento de abordagens voltadas à tomada de decisão e à prescrição de soluções. Esse cenário indica uma lacuna relevante na integração entre diagnóstico e gestão da vida útil, sugerindo que a capacidade de identificar problemas tem evoluído mais rapidamente do que a de tratá-los de forma sistemática e otimizada.

No contexto geográfico, observam-se semelhanças entre o cenário brasileiro e o internacional, com destaque para a presença de estudos sobre corrosão no Brasil, possivelmente associada às condições ambientais locais. Tal resultado reforça a importância de abordagens regionais na análise da durabilidade do concreto, considerando a influência direta das condições de exposição sobre os mecanismos de deterioração.

Sob a perspectiva prática, os achados apontam para a necessidade de evolução da engenharia diagnóstica para além da identificação de patologias, incorporando ferramentas capazes de sustentar o prognóstico, a priorização de intervenções e a otimização de recursos, especialmente em cenários de envelhecimento acelerado das infraestruturas.

De forma mais ampla, a evolução da área depende não apenas do avanço das técnicas de inspeção, mas, principalmente, da integração entre dados, modelos preditivos e processos de tomada de decisão. Nesse sentido, destaca-se a necessidade de desenvolver abordagens que convertam informações diagnósticas em estratégias de intervenção eficazes, promovendo uma gestão mais eficiente, racional e sustentável das estruturas de concreto.

Por fim, a taxonomia científica multifacetada mostrou-se uma ferramenta robusta para a organização e análise do conhecimento, permitindo não apenas a identificação de tendências, mas também a explicitação de lacunas estruturais da área. Sua aplicação evidencia o potencial de abordagens integradas para conectar diagnóstico, previsão de desempenho e tomada de decisão, contribuindo para o avanço científico e tecnológico da engenharia diagnóstica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (400901/2025-0) e FAPEMIG (APQ-06746-24) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C.; ALONSO, C. Corrosion rate monitoring in the laboratory and on-site. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575 - Partes 1-6: 2025 Desempenho de Edifícios Habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

BROOMFIELD, J. P. Corrosion of Steel in Concrete. 2007.

DOTTO, J. M. R. Corrosão do aço induzida por íons cloreto – Uma análise crítica das técnicas eletroquímicas aplicadas ao sistema aço-concreto com ou sem pozolana. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2006.

GOMIDE, T. L. F.; FLORA, S. M. D.; BRAGA, A. G. M.; GULLO, M. A.; NETO, J. C. P. F.; Manual de Engenharia Diagnóstica - Desempenho, manifestações patológicas e perícias na construção civil. LEUD, 2021.

HELENE, P. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. 1993.

HOU, B.; LI X.; DU, C.; ZHANG, D. ZHENG, M.; XU, W.; LU, D.; MA, F.; The cost of corrosion in China, NPJ Materials Degradation, vol. 1, no. 4, p. 1–10, http://dx.doi.org/10.1038/s41529-017-0005-2, 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). Área de materiais desenvolve estudos contra a corrosão. Notícias - Jornal Órbita. Jul. 2002. http://www.ipen.br/sitio?idc=896

KOCH, G.; VARNEY, J.; THOMPSON, N.; MOGHISSI, O.; GOULD, M.; PAYER, P.; International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study. Houston. NACE International, 2016.

RIBEIRO, D V. Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2014.

MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. Handbook on Nondestructive Testing of Concrete. 2004.

CAPÍTULO 89 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/2k9hr725
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/zqsbqk83

FORMAÇÃO DE SISTEMA INTERLAMINAR ATIVO EM LAJES DE GARAGEM APÓS INTERVENÇÃO CORRETIVA INADEQUADA: ESTUDO DE CASO EM EDIFÍCIO RESIDENCIAL

Jordana Paes Epifânio
Autor de contato: engenheirajordana15@gmail.com
Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil Kennedy, Belo Horizonte, Brasil

RESUMO

No contexto das manifestações patológicas associadas à umidade e às falhas de impermeabilização, as garagens subterrâneas figuram entre os elementos construtivos mais suscetíveis em edificações residenciais. Este trabalho apresenta investigação diagnóstica fundamentada em revisão bibliográfica e estudo de caso desenvolvido em edifício multifamiliar com aproximadamente 25 anos de uso, composto por dois níveis de garagem, no qual infiltrações persistentes motivaram a execução de uma nova camada de concreto sobre a laje original impermeabilizada. A metodologia adotada contemplou inspeção visual minuciosa dos ralos, arremates e pontos singulares, aberturas exploratórias em regiões estratégicas, verificação das condições de continuidade, aderência e integridade da manta asfáltica, além de ensaio com traçador hidrossolúvel. Os resultados evidenciaram a formação de um sistema interlaminar ativo, caracterizado pela circulação e pelo acúmulo de água entre a impermeabilização preexistente e a laje estrutural, favorecendo infiltrações recorrentes, saturação prolongada e manutenção de umidade no interior do sistema. O ensaio com traçador hidrossolúvel confirmou experimentalmente o percurso da infiltração entre pavimentos, comprovando a comunicação hídrica entre as camadas como mecanismo responsável pela recorrência das manifestações patológicas. Os achados reforçam a importância da engenharia diagnóstica na identificação precisa das causas da infiltração e na definição de intervenções corretivas tecnicamente adequadas, seguras e duráveis.

Palavras-chave: patologia das construções; impermeabilização de lajes; durabilidade estrutural.

ABSTRACT

In the context of pathological manifestations associated with moisture and waterproofing failures, underground parking garages are among the building components most susceptible in residential structures. This paper presents a diagnostic investigation based on a literature review and a case study conducted in a multifamily residential building approximately 25 years old, consisting of two parking levels, where persistent leakage led to the construction of an additional concrete overlay over the original waterproofed structural slab. The adopted methodology included detailed visual inspection of drains, terminations, and other critical waterproofing points, exploratory openings in strategic areas, assessment of the continuity, adhesion, and integrity of the asphalt membrane, as well as a water-soluble tracer test. The results revealed the formation of an active interlayer water system, characterized by the circulation and accumulation of water between the pre-existing waterproofing system and the structural slab, contributing to recurrent leakage, prolonged moisture retention, and hidden degradation within the assembly. The water-soluble tracer test experimentally confirmed the leakage path between levels, demonstrating hydraulic communication between layers as the primary mechanism responsible for recurring pathological manifestations. The findings reinforce the importance of diagnostic engineering in accurately identifying infiltration mechanisms and in defining technically appropriate, safe, and durable corrective interventions.

Keywords: building pathology; waterproofing; garage slabs; structural durability.

1. INTRODUÇÃO

A durabilidade das estruturas de concreto armado está diretamente relacionada ao controle das manifestações patológicas ao longo da vida útil das edificações. Tal entendimento está em consonância com a NBR 6118 (ABNT, 2023), que estabelece diretrizes relativas à durabilidade estrutural em função dos mecanismos de deterioração, das condições de exposição ambiental e da necessidade de adequada proteção das armaduras.

Entre os diversos fatores que contribuem para a degradação estrutural, a presença contínua de umidade destaca-se como um dos principais agentes responsáveis pelo desenvolvimento de infiltrações, processos de carbonatação e corrosão das armaduras. Sob essa perspectiva, a norma brasileira de desempenho de edificações NBR 15575 (ABNT, 2021) assume papel relevante ao estabelecer requisitos relacionados à estanqueidade, à durabilidade e à manutenção das condições de uso ao longo da vida útil. Nesse contexto, o atendimento aos critérios de desempenho previstos na norma está diretamente associado à capacidade dos sistemas construtivos de impedir o ingresso e a permanência de água, sendo sua não conformidade fator determinante para o surgimento de manifestações patológicas em elementos como lajes de garagem.

Elementos estruturais frequentemente expostos à ação da água, como lajes de garagem, vigas e pilares situados em pavimentos subterrâneos, apresentam maior suscetibilidade ao surgimento de manifestações patológicas. Segundo Helene (1992), a presença contínua de umidade constitui um dos principais fatores de degradação de estruturas de concreto armado, pois acelera o processo de carbonatação e favorece o desenvolvimento da corrosão das armaduras. De forma complementar, Neville (2016) destaca que a interação entre água, oxigênio e agentes agressivos contribui para processos progressivos de deterioração do concreto, comprometendo o desempenho e a durabilidade das estruturas.

Diante desse cenário, a manutenção das condições de desempenho ao longo da vida útil da edificação depende diretamente da adoção de estratégias adequadas de inspeção, diagnóstico e intervenção técnica. Intervenções executadas sem investigação diagnóstica adequada podem não apenas falhar na solução do problema original, mas também introduzir novos mecanismos de degradação. Nesse sentido, a NBR 5674 (ABNT, 2012) reforça que as intervenções de manutenção devem ser tecnicamente planejadas, registradas e controladas, não sendo adequadas soluções corretivas executadas sem diagnóstico prévio e sem enfrentamento da causa da manifestação patológica.

Nesse contexto, a engenharia diagnóstica assume papel fundamental na identificação das causas das manifestações patológicas e na definição de estratégias de intervenção compatíveis com os requisitos de durabilidade e segurança estrutural. Tal abordagem encontra respaldo na ABNT NBR 16747 (ABNT, 2020), que estabelece diretrizes para a inspeção predial, abrangendo levantamento de dados, análise documental, vistoria sistêmica e recomendação técnica das ações necessárias.

À luz dessas considerações, emerge o seguinte problema de pesquisa: quais mecanismos patológicos podem explicar a formação de uma lâmina de água interlaminar em lajes de garagem após intervenções corretivas consistentes na execução de nova camada de concreto sobre sistemas de impermeabilização preexistentes?

Considerando a relevância técnica das manifestações patológicas associadas à infiltração em estruturas de concreto armado, torna-se necessário investigar de forma mais aprofundada os

mecanismos envolvidos na formação de sistemas interlaminares ativos em lajes de garagem. Assim, este estudo analisa, com base em um caso real de edificação residencial e nos procedimentos da engenharia diagnóstica, os fatores relacionados ao comportamento da infiltração, buscando contribuir para intervenções corretivas mais eficazes, seguras e compatíveis com os requisitos de durabilidade estrutural.

2. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

A investigação foi conduzida com base em procedimento de engenharia diagnóstica orientado pelas diretrizes da NBR 16747 (ABNT, 2020), especialmente no que se refere ao levantamento de informações, inspeção da edificação, registro de anomalias, análise das evidências e formulação diagnóstica. Complementarmente, a interpretação técnica dos achados foi correlacionada aos requisitos de desempenho, estanqueidade, durabilidade e manutenção estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2021), na NBR 6118 (ABNT, 2023), na NBR 9574 (ABNT, 2016), na NBR 9575 (ABNT, 2010) e na NBR 5674 (ABNT, 2012), conforme a natureza das manifestações analisadas.

Para identificação da origem da água, de seu caminho preferencial de percolação e do mecanismo de ingresso no sistema interlaminar, foram adotados procedimentos investigativos diretamente relacionados ao comportamento da infiltração, compreendendo:

- Inspeção visual minuciosa dos ralos, arremates e demais pontos singulares do sistema impermeabilizante;
- Aberturas exploratórias em regiões estratégicas;
- Verificação das condições de continuidade, aderência e integridade da manta asfáltica; Ensaio com traçador hidrossolúvel.

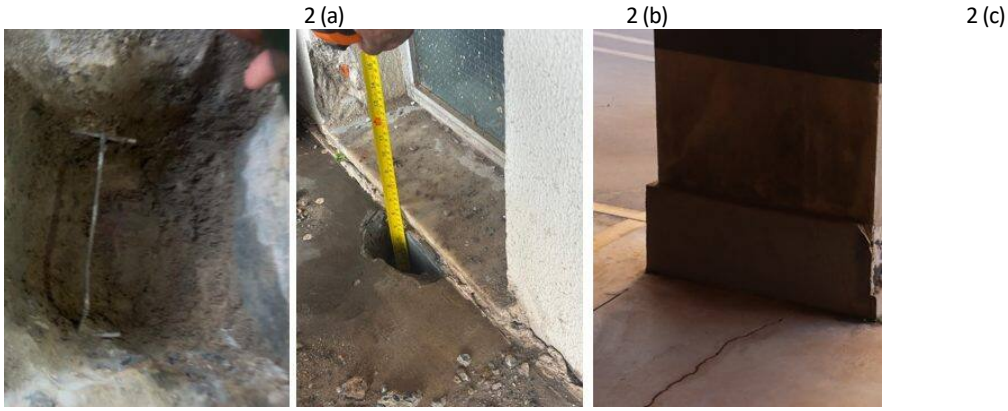
2.1 Estudo de Caso

A edificação analisada possui aproximadamente 25 anos de idade e é composta por dois níveis de garagem denominados G1 e G2. A laje estrutural que separa os pavimentos possui área aproximada de 2.000,00 m² e recebeu originalmente sistema de impermeabilização com manta asfáltica e camada de proteção mecânica, cuja configuração geral pode ser observada na Figura 1.



Figura 1 - Imagem da vista geral da laje da garagem (G1)
Fonte: autora.

Após a entrega da edificação, passaram a ocorrer infiltrações recorrentes no pavimento inferior (G2). Como tentativa de solução, foi executada, em 2013, uma nova camada de concreto sobre o sistema preexistente. Até o momento da investigação, não foram apresentados elementos documentais que permitissem comprovar a existência de projeto estrutural específico, validação pelo projetista da estrutura original ou verificação formal dos acréscimos de carga decorrentes dessa intervenção. A camada executada apresentou espessura média aproximada de 12 cm e foi armada com tela metálica leve, configurando uma sobreposição construtiva que introduziu carregamento adicional permanente e novas interfaces entre sistemas, com potencial para alterar o comportamento em serviço da estrutura. Com o tempo, a sobre laje passou a apresentar trincas distribuídas, associadas à retração do concreto e às movimentações diferenciais entre as camadas estruturais, fenômeno compatível com condições de fissuração e comprometimento do desempenho em serviço da estrutura, uma vez que a fissuração favorece a penetração de água e agentes agressivos, reduz a proteção das armaduras e pode acelerar processos de deterioração do concreto, conforme ilustrado nas Figuras 2 (a), 2 (b) e 2 (c).



Figuras 2 (a), 2 (b) e 2 (c) - Imagem dos detalhes da armadura leve, da espessura aproximada de 12cm da sobre laje e da fissura observada no piso.
Fonte - autora.

2.2 Sistema interlaminar ativo

A configuração identificada durante a investigação diagnóstica caracteriza a formação de um sistema interlaminar ativo, definido pela circulação e pelo acúmulo de água no espaço entre a laje original e a segunda camada de concreto. Esse fenômeno funciona como um reservatório hídrico oculto, responsável por alimentar as infiltrações no pavimento inferior, conforme ilustrado no diagrama conceitual apresentado na Imagem 1.

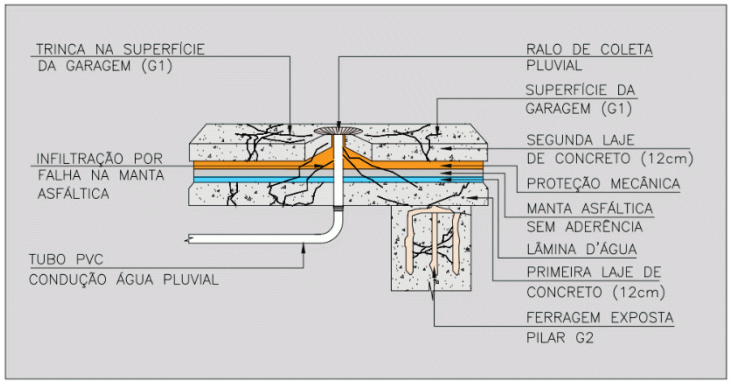


Imagem 1 - Sistema interlaminar ativo
Fonte: autora.

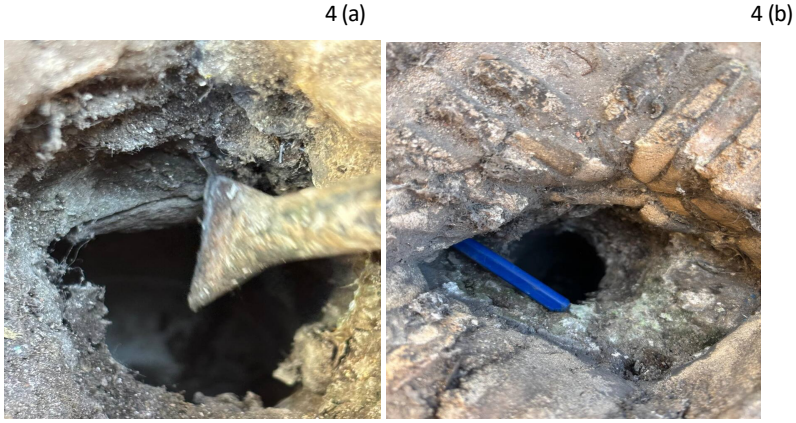
2.3 Resultados e discussão

Na face inferior da laje do pavimento G2, constata-se a presença de manchas de umidade persistentes, acompanhadas de lixiviação. Tal fenômeno ocorre quando a água, ao percolar pela matriz do concreto, transporta compostos solúveis, como o hidróxido de cálcio, para a superfície. Essa manifestação é compatível com a existência de acúmulo hídrico entre a laje original e a camada adicional executada em 2013, evidenciando estado de saturação prolongada e circulação hídrica contínua no interior da estrutura, configurando condição de saturação prolongada prejudicial à durabilidade da estrutura, uma vez que a presença contínua de umidade favorece o transporte de compostos solúveis, intensifica a carbonatação e cria ambiente propício ao desenvolvimento de processos corrosivos nas armaduras, conforme ilustrado nas Figuras 3 (a) e 3 (b).



Figuras 3 (a) e 3 (b) - Imagem da umidade, lixiviação e estalactites na face inferior da laje.
Fonte - autora.

O sistema de drenagem superficial apresentava deficiência de captação, em razão do número de ralos incompatível com a área da laje, favorecendo o empoçamento de águas pluviais e de manutenção. Paralelamente, verificaram-se falhas executivas na região dos ralos, incluindo descontinuidades de vedação e interrupção da manta impermeabilizante da laje original, que não se prolongava de forma contínua até o término da segunda laje. Essas condições configuraram pontos preferenciais de ingresso de água para a interface entre as camadas, contribuindo para a manutenção do sistema interlaminar ativo, em desacordo com os critérios de projeto e execução da impermeabilização estabelecidos pela ABNT NBR 9575 e pela ABNT NBR 9574, conforme ilustrado nas Figuras 4 (a) e 4 (b).



Figuras 4 (a) e 4 (b) - Imagem da Perda de aderência da manta asfáltica e descontinuidade junto ao ralo, destacada por objeto de referência, favorecendo a infiltração entre as lajes
Fonte - autora

Durante a inspeção, verificaram-se falhas executivas e perda de funcionalidade do sistema de impermeabilização nas regiões de encontro entre a laje e os pés dos pilares. A manta asfáltica, originalmente elevada nessas bases para garantir a estanqueidade, encontrava-se desplacada, solta ou sem aderência eficaz ao substrato, evidenciando comprometimento do desempenho do sistema, em desacordo com a ABNT NBR 9574.

Essa condição associou-se ao processo contínuo de infiltração, com percolação de umidade para as bases dos pilares e desenvolvimento de corrosão nas armaduras. A expansão dos produtos corrosivos gerou tensões no cobrimento, resultando em fissuração, destacamento e desplacamento do concreto, caracterizando prejuízo à durabilidade da estrutura, uma vez que a corrosão compromete a proteção das armaduras e pode levar à perda de desempenho do elemento estrutural.

Verificou-se, ainda, a execução posterior de arremates tipo rodapé para contenção mecânica da manta; entretanto, tal intervenção mostrou-se ineficaz, por não atuar sobre a causa primária da anomalia - o ingresso contínuo de água e a corrosão instalada - limitando-se à contenção superficial, sem restabelecimento efetivo da impermeabilização, conforme ilustrado na Figura 5.

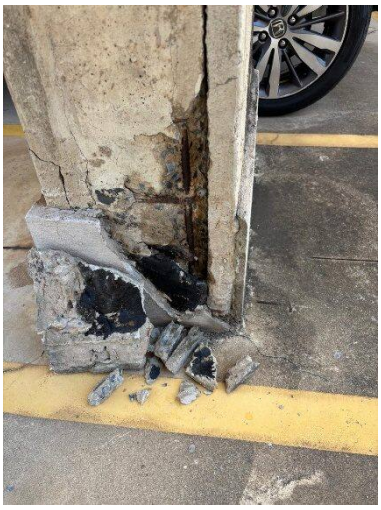


Figura 5 - Imagem da evidencia a evolução do processo corrosivo das armaduras, já com comprometimento visível do elemento estrutural.
Fonte - autora.

A etapa final da investigação teve por objetivo comprovar experimentalmente a hipótese de circulação oculta de água entre a laje original e a camada adicional superposta. Para isso, adotou-se como ponto de partida uma manifestação pré-existente de infiltração na caixa de escada de uma das torres, local adequado para leitura do corte construtivo das lajes e compatível com os procedimentos de inspeção, levantamento de evidências e análise diagnóstica previstos na ABNT NBR 16747:2020.

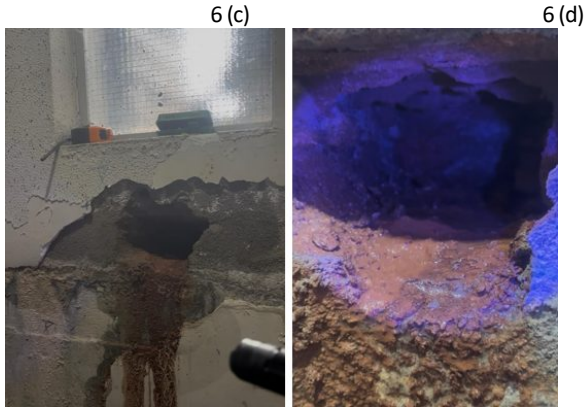
As aberturas executadas nas faces externa e interna da caixa de escada permitiram identificar armadura leve na camada superior, verificar espessura aproximada de 12 cm e confirmar a existência de uma segunda laje sobre o sistema original. Em seguida, o ralo mais próximo foi vedado e realizou-se lançamento contínuo de água na superfície superior por aproximadamente três a quatro horas, com posterior adição de traçador hidrossolúvel. Concomitantemente, abriu-se janela de inspeção na face interna da caixa de escada, por meio da qual se observou a constituição do sistema, formado por duas camadas estruturalmente distintas, separadas por manta asfáltica e camada de proteção mecânica.

Decorrido o tempo de percolação, verificou-se o aparecimento de água com traçador hidrossolúvel no interior da abertura, confirmando experimentalmente a comunicação hidráulica entre a superfície superior e o espaço interlaminar entre as lajes. Os resultados demonstraram que a água

escoava e permanecia circulando de forma oculta entre as camadas, caracterizando um sistema interlaminar ativo, responsável pela manutenção do estado de saturação da estrutura e pela recorrência das manifestações patológicas nos pavimentos inferiores. Essa condição evidencia que a água não apenas ingressa no sistema, mas permanece confinada entre as camadas, funcionando como um reservatório hídrico oculto, o que compromete a estanqueidade do sistema, prejudica o desempenho em uso e favorece a redução da durabilidade da estrutura, ao manter a laje submetida à ação contínua da umidade e à progressão de mecanismos de deterioração, conforme ilustrado nas Figuras 6 (a), 6 (b), 6 (c) e 6 (d).



Figuras 6 (a) e 6 (b) - Área da caixa de escada com infiltração pré-existente e região do pavimento G1 submetida ao ensaio de acúmulo hídrico, adotadas para investigação do percurso da água no sistema interlaminar.
Fonte: autora.



Figuras 6 (c) e 6 (d) - Janela de inspeção executada na caixa de escada e aparecimento de água com traçador hidrossolúvel no interior da abertura.
Fonte: autora.

Os resultados obtidos a partir da investigação diagnóstica evidenciaram um conjunto de falhas sistêmicas associadas ao desempenho do sistema de impermeabilização e à intervenção executada posteriormente sobre a laje original.

A inspeção visual revelou deficiência no sistema de drenagem superficial, com número de ralos incompatível com a área da laje, favorecendo o empoçamento de águas pluviais e de manutenção. Foram também identificadas falhas executivas nos arremates e pontos singulares, especialmente nas regiões de ralos e encontros com elementos estruturais, configurando zonas preferenciais para o ingresso de água.

As aberturas exploratórias permitiram caracterizar a constituição do sistema construtivo, confirmando a execução de uma segunda camada de concreto com espessura aproximada de 12 cm, armada com tela metálica leve, sobreposta à laje original impermeabilizada. Tal configuração introduziu uma interface adicional entre sistemas, suscetível ao acúmulo e à circulação de água.
A verificação das condições de continuidade e aderência da manta asfáltica evidenciou descontinuidades, perda de aderência e falhas localizadas, principalmente nas proximidades dos ralos e nos encontros com pilares, comprometendo a estanqueidade do sistema e favorecendo a infiltração para o espaço interlaminar.

O ensaio com traçador hidrossolúvel confirmou experimentalmente o percurso da água infiltrada, evidenciando sua migração entre os pavimentos e comprovando a comunicação hidráulica entre a superfície superior e o espaço interlaminar. Esse resultado foi determinante para a confirmação do mecanismo de infiltração oculta.

A presença contínua de umidade nesse espaço interlaminar favoreceu a saturação do concreto, criando condições propícias ao avanço da carbonatação e ao desenvolvimento de processos corrosivos nas armaduras, especialmente nas regiões de maior concentração de umidade, como encontros com pilares e zonas de falha do sistema impermeabilizante.

Dessa forma, os resultados confirmam que a intervenção executada, ao invés de solucionar o problema de infiltração, contribuiu para a formação de um sistema interlaminar ativo, caracterizado pelo acúmulo e pela circulação contínua de água entre as camadas, configurando um mecanismo oculto de degradação e recorrência das manifestações patológicas.

Como solução técnica recomendada, foi definida, previamente à execução das obras, a elaboração de projetos executivos complementares indispensáveis, abrangendo escoramento estrutural, recuperação estrutural, impermeabilização e readequação do sistema de drenagem existente, incluindo o redimensionamento técnico dos pontos de captação e escoamento pluvial da garagem.

A intervenção proposta contemplou a remoção integral da camada de laje sobreposta, demolição controlada, inspeção e recuperação da laje original, tratamento das manifestações corrosivas identificadas, correção dos caimentos, ampliação e adequação da drenagem, além da implantação de novo sistema impermeabilizante contínuo e devidamente compatibilizado com os elementos estruturais. Dessa forma, a solução buscou enfrentar não apenas os efeitos observados, mas sobretudo as causas sistêmicas da infiltração, promovendo o restabelecimento da estanqueidade, segurança estrutural e durabilidade da edificação.

3. CONCLUSÃO

A investigação realizada demonstrou que as infiltrações observadas nas lajes de garagem estão diretamente associadas à formação de um sistema interlaminar ativo, decorrente da execução de uma camada adicional de concreto sobre o sistema de impermeabilização preexistente. A presença de falhas no sistema impermeabilizante, especialmente em regiões de ralos, arremates e encontros com elementos estruturais, permitiu o ingresso de água para o espaço formado entre as camadas da laje.

Essa configuração favoreceu a formação de um reservatório hídrico confinado entre as interfaces construtivas, possibilitando a circulação contínua de água e sua percolação para pontos específicos do pavimento inferior. A permanência prolongada de umidade nesse espaço interlaminar contribuiu para a saturação do concreto, criando condições favoráveis ao avanço da carbonatação, ao desenvolvimento de processos corrosivos nas armaduras e à redução progressiva da durabilidade estrutural.

Do ponto de vista técnico, os resultados obtidos evidenciam que intervenções executadas sem investigação diagnóstica adequada podem não apenas falhar na solução das infiltrações existentes, mas também introduzir mecanismos adicionais e ocultos de degradação estrutural. Nesse contexto,

o conceito de sistema interlaminar ativo amplia a compreensão sobre processos patológicos associados à sobreposição inadequada de camadas construtivas em lajes de garagem, reforçando o papel da engenharia diagnóstica como ferramenta essencial para a identificação precisa das causas, para a tomada de decisão técnica fundamentada e para a definição de intervenções corretivas eficazes, seguras e duráveis. Os achados reforçam, ainda, a necessidade de soluções baseadas em diagnóstico técnico aprofundado, evitando intervenções corretivas inadequadas capazes de agravar manifestações patológicas e comprometer o desempenho global da edificação.

REFERÊNCIAS

HELENE, P. R. L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1992.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118:2023, Versão Corrigida 2:2024: **Projeto de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575:2021: **edificações habitacionais - desempenho.** Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9574:2016: **execução de impermeabilização.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16747:2020: **inspeção predial - diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento.** Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9575**:** **impermeabilização - seleção e projeto.** Rio de Janeiro, 2010.

CAPÍTULO 90 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/24e8n489
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/j73nwr94

Investigação da Integridade Estrutural de uma Ponte de 20 m no Povoado Santo Amaro, Caxias–MA

Paulo Ricardo Alves Dos Reis Dos Santos[1], Heveraldo Brito Serra[2]*;
*Autor de contato: heveraldob12@gmail.com

[1] Professor Mestre em Engenharia Civil, Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão, Caxias - Maranhão, Brasil
[2] Graduando do Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão, Caxias - Maranhão, Brasil

RESUMO

As pontes são elementos fundamentais da infraestrutura viária, garantindo a continuidade das vias e a mobilidade entre regiões. Ao longo do tempo, podem apresentar manifestações patológicas causadas por falhas construtivas, ações ambientais, aumento de cargas ou falta de manutenção. Este estudo avaliou as condições estruturais de uma ponte de concreto armado no povoado Santo Amaro, em Caxias – MA. A metodologia baseou-se em inspeção visual *in loco*, seguindo as normas ABNT NBR 9452:2023 e DNIT 010/2004 – PRO. Foram utilizados fissurômetro, trena, câmera fotográfica e solução de fenolftaleína. Identificaram-se manifestações patológicas como recalque diferencial, carbonatação do concreto e corrosão das armaduras. Também foram observadas falhas nas juntas de dilatação. A análise classificou a ponte como Nota 01 – Obra Crítica, recomendando interdição imediata e inspeção detalhada.
Palavras-chave: pontes de concreto armado; manifestações patológicas; inspeção estrutural; obras de arte especiais; recalque diferencial.

ABSTRACT

Bridges are essential elements of road infrastructure, ensuring road continuity and mobility between regions. Over time, these structures may develop pathological manifestations caused by construction defects, environmental actions, increased loads, or insufficient maintenance. This study evaluated the structural conditions of a reinforced concrete bridge located in Santo Amaro village, in Caxias – MA. The methodology was based on an *in loco* visual inspection following ABNT NBR 9452:2023 and DNIT 010/2004 – PRO standards. Instruments such as a crack gauge, measuring tape, camera, and phenolphthalein solution were used. Pathologies manifestations identified included differential settlement, concrete carbonation, and reinforcement corrosion. Failures in the expansion joints were also observed. The bridge was classified as Rating 01 – Critical Structure, requiring immediate closure and detailed inspection.
Keywords: reinforced concrete bridges; structural pathology; bridge inspection; special engineering structures; differential settlement.

1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social, uma vez que possibilita o funcionamento de sistemas essenciais para a sociedade, como transporte, saneamento, energia e comunicação. Para Rocha e Ribeiro (2022), a infraestrutura pode ser compreendida como o conjunto de estruturas básicas que viabilizam o funcionamento da economia e o desenvolvimento das atividades humanas em diferentes dimensões. Nesse contexto, a adequada implantação, manutenção e avaliação dessas estruturas são fatores fundamentais para garantir sua segurança, durabilidade e eficiência ao longo do tempo.

Entre as estruturas de maior relevância para a engenharia civil destacam-se as pontes. Segundo Valeriano (2025), essas estruturas podem ser classificadas como Obras de Arte Especiais (OAEs), denominação atribuída a construções destinadas a vencer obstáculos naturais ou artificiais, permitindo a continuidade de vias de transporte em locais onde anteriormente não havia passagem. De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2004), ponte é definida como uma estrutura, incluindo seus apoios, construída sobre uma depressão ou obstrução, como cursos d'água, rodovias ou ferrovias, destinada a sustentar uma pista para a passagem de veículos e outras cargas móveis, possuindo vão livre superior a seis metros, medido ao longo do eixo da rodovia.

Apesar de sua grande importância para a mobilidade e integração territorial, as pontes estão sujeitas ao surgimento de manifestações patológicas ao longo de sua vida útil. Nesse sentido, segundo Weimer, Thomas e Dresch (2018), a patologia das estruturas pode ser definida como a área responsável pelo estudo das origens, formas de manifestação, consequências e dos mecanismos que levam ao aparecimento de defeitos nas construções civis. De maneira análoga à patologia na área da medicina, essa área busca não apenas identificar os sintomas apresentados pelas estruturas, mas também compreender as causas dos danos, permitindo a proposição de medidas de prevenção, manutenção e recuperação das estruturas.

Diante da importância da manutenção da segurança e da durabilidade das obras de arte especiais, torna-se necessária a realização de inspeções e avaliações estruturais periódicas, a fim de identificar possíveis manifestações patológicas e prevenir o comprometimento da estrutura. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo investigar e avaliar a integridade estrutural de uma ponte com 20 metros de extensão localizada no povoado Santo Amaro, no município de Caxias – MA.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Normas Técnicas Aplicáveis

O presente estudo fundamenta-se nos princípios da inspeção de pontes, conforme estabelecido nas normas técnicas vigentes, especialmente na ABNT NBR 9452:2023 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento e na DNIT 010/2004 – PRO – Inspeção de Obras de Arte Especiais, entre outras regulamentações pertinentes.

De acordo com a ABNT NBR 9452 (2023), a inspeção consiste na avaliação técnica do estado de conservação das estruturas, realizada por meio da identificação de manifestações patológicas e da análise das condições de uso e segurança, com o objetivo de subsidiar a tomada de decisões relacionadas à manutenção, reabilitação ou substituição dessas estruturas.

Essa definição complementa o disposto em outras normas, como a DNIT 010/2004 – PRO, na qual estabelece critérios e procedimentos para a realização de inspeções rotineiras e especiais em obras de arte especiais, visando garantir sua funcionalidade, segurança estrutural e durabilidade. Além dessas normas, outras regulamentações também contribuem para a avaliação estrutural, como a ABNT NBR 8681:2003, que trata das ações e segurança nas estruturas, e a ABNT NBR NM 315:2007, referente aos procedimentos de ensaios visuais não destrutivos.

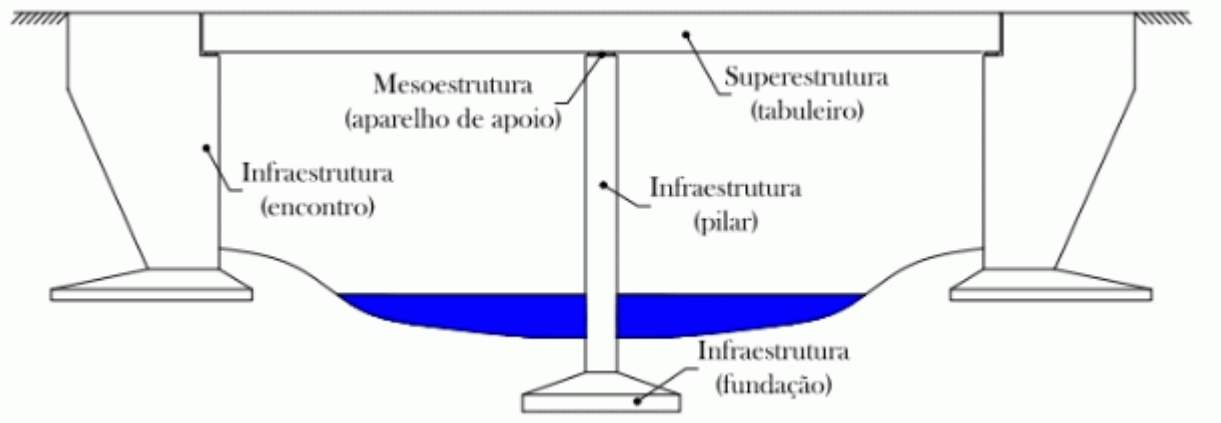
2.2 Pontes e Viadutos

Ponte é uma estrutura destinada a transpor diversos tipos de obstáculos, garantindo a continuidade de uma via. De acordo com El Debs (2022), dependendo da natureza do obstáculo a ser vencido, essas estruturas podem receber diferentes denominações. Quando o obstáculo corresponde a um curso d'água ou outra superfície líquida, a estrutura é denominada ponte; quando a transposição ocorre sobre vales ou outras vias, denomina-se viaduto, podendo este ser classificado como viaduto de acesso quando tem a função de conduzir à ponte.

2.2.1 Elementos Estruturais das Pontes e Viadutos

De acordo com Cavalcante (2019), os elementos estruturais que compõem as OAEs podem ser divididos em três partes principais: superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, conforme ilustrado na Figura 01. A superestrutura é formada pelas estruturas principais e secundárias; as principais são constituídas pelas peças estruturais responsáveis por vencer o vão livre, enquanto as secundárias são compostas pelo tabuleiro, elemento que recebe diretamente as ações das cargas e as transmite para a estrutura principal. A mesoestrutura é composta pelos aparelhos de apoio, responsáveis por realizar a ligação entre a superestrutura e os elementos de suporte. Por sua vez, a infraestrutura é constituída pelos encontros, pilares e elementos de fundação, responsáveis por transmitir as cargas da estrutura ao solo.

Figura 01 - Esquema ilustrativo das composição de pontes.



Fonte: Cavalcante (2019).

2.3 Inspeção e Avaliação Estrutural de Pontes

Para a resolução das manifestações patológicas, torna-se necessária a realização de uma avaliação estrutural da ponte, a qual, em muitos casos, é realizada por meio de inspeções. Segundo o DNIT (2004), a inspeção de pontes pode ser definida como uma atividade técnica especializada que envolve a coleta de informações de projeto e construção, a realização de um exame detalhado da estrutura, a elaboração de relatórios técnicos, a avaliação do estado de conservação da obra e a emissão de recomendações. Essas recomendações podem incluir a necessidade de novas vistorias, bem como a execução de obras de manutenção, recuperação, reforço ou reabilitação da estrutura.

Nesse contexto, o diagnóstico pode ser obtido por diferentes métodos e constitui uma etapa fundamental na identificação das manifestações patológicas. De acordo com Fonteles, Sampaio e Craveiro (2025), diagnosticar uma manifestação patológica consiste em identificar suas causas e avaliar sua gravidade potencial com base na observação dos sintomas, bem como na realização de estudos e ensaios específicos. Além disso, as consequências dessas manifestações podem comprometer tanto a segurança da estrutura quanto o seu desempenho em serviço, conforme Verly (2022).

2.4 Manifestações Patológicas

As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado representam sinais de degradação que podem comprometer o desempenho, a durabilidade e a segurança das construções. Segundo Bolina, Tutikian e Helene (2025), essas manifestações estão associadas a fatores como falhas de projeto, deficiências construtivas, ações ambientais e ausência de manutenção adequada ao longo da vida útil da estrutura. Os autores destacam ainda que, no Brasil, o desempenho estabelecido em projeto para os sistemas construtivos deve ser preservado durante o período de uso da edificação por, no mínimo, 50 anos no caso de edificações convencionais, conforme os requisitos de desempenho definidos para a vida útil das estruturas.

2.4.1 Recalque diferencial em estruturas

Embora todas as fundações sob carregamento apresentem recalques, uma vez que segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2025), tais deslocamentos são naturais devido às características deformáveis do solo. No entanto, quando esses deslocamentos ocorrem de forma desigual entre os elementos de fundação, configura-se o recalque diferencial, que pode ocasionar manifestações patológicas prejudiciais à estrutura. De acordo com Bolina, Tutikian e Helene (2025), o recalque diferencial ocorre quando um elemento estrutural, como um pilar, sofre um deslocamento distinto em relação aos demais, podendo gerar consequências imediatas para o comportamento e a integridade da estrutura.

2.4.2 Carbonatação do concreto

Uma das manifestações patológicas mais comuns em estruturas de concreto é a carbonatação. Segundo Bolina, Tutikian e Helene (2025), agentes químicos podem inicialmente atacar o concreto, provocando fissuras ou reduzindo sua alcalinidade. Esse é o caso do gás carbônico (CO_2) presente na atmosfera, que reage com os compostos hidratados do cimento, promovendo a carbonatação do concreto. Esse processo consome substâncias responsáveis por manter a alcalinidade do material e, consequentemente, a passivação das armaduras, tornando-as mais suscetíveis à corrosão.

Nesse Contexto, Cassavara, Rodrigues Filhos e Costa (2023), a porosidade e permeabilidade do concreto, são fatores de extrema influência para que ocorra a carbonatação e que estão diretamente ligados ao seu fator água/cimento. Quanto mais poroso e permeável o concreto, mais fácil o dióxido de carbono penetrará, tornando mais profunda a região acometida pela carbonatação

2.4.3 Corrosão das armaduras

Como contextualizado anteriormente, uma das consequências da carbonatação é tornar as armaduras do concreto expostas à corrosão. Segundo Verly (2022), o processo de corrosão das armaduras inicia-se com a perda da proteção natural do aço, denominada passivação. Essa perda ocorre, principalmente, quando determinadas substâncias penetram no concreto de cobrimento e alcançam a superfície das armaduras, como o dióxido de carbono (CO_2) ou íons cloreto. A presença desses agentes agressivos reduz a alcalinidade do concreto e rompe a camada protetora do aço, favorecendo o início do processo corrosivo.

Quando a armadura entra em processo de corrosão, diversos sinais podem ser observados na estrutura. De acordo com Nascimento (2015), esse problema manifesta-se por meio de manchas superficiais, fissuras, destacamento do cobrimento de concreto e perda de massa das armaduras, resultando na redução da seção resistente dos elementos estruturais.

Nesse contexto, a inspeção das estruturas torna-se fundamental para a identificação dessas manifestações patológicas. Segundo o DNIT (2004), durante as inspeções devem ser realizados procedimentos como a limpeza de determinadas áreas da ponte, a fim de possibilitar a verificação da existência de trincas, corrosão ou outros defeitos que possam estar encobertos na superfície da estrutura.

2.4.4 Fissuras em estruturas de concreto

Segundo Weimer, Thomas e Dresch (2018), existe uma variedade de agentes capazes de provocar manifestações patológicas nas estruturas, entre os quais se destacam as cargas atuantes, as variações de umidade e temperatura, a ação de agentes biológicos e atmosféricos, bem como a incompatibilidade entre materiais, entre outros fatores.

Nesse contexto, a NBR 6118 (ABNT, 2023) destaca a inevitabilidade da fissuração em estruturas de concreto armado, em razão da grande variabilidade do material e de sua baixa resistência à tração. Contudo, a norma estabelece que as fissuras devem ser controladas, não devendo ultrapassar limites máximos de abertura até 0,4 mm, dependendo da classe de agressividade ambiental e do tipo de elemento estrutural.

Complementarmente, Verly (2022) destaca que é necessária a correta identificação do tipo de fissura, pois estas podem ser classificadas como ativas ou passivas em relação à sua movimentação. As fissuras ativas são aquelas que apresentam variação em sua abertura conforme o carregamento ou as condições de solicitação da estrutura. Essa avaliação pode ser realizada por meio da utilização de selos de gesso ou plaquetas de vidro, fixados sobre a fissura para verificar possíveis movimentações ao longo do tempo.

3. METODOLOGIA

3.1 Delimitação Geográfica

A OAE em análise está localizada no povoado Santo Amaro, 2º distrito do município de Caxias - MA, sob o curso d'água do riacho do Itapecuruzinho. Podemos observar na Figura 02 a vista superior da geolocalização da ponte, objeto de análise deste documento.

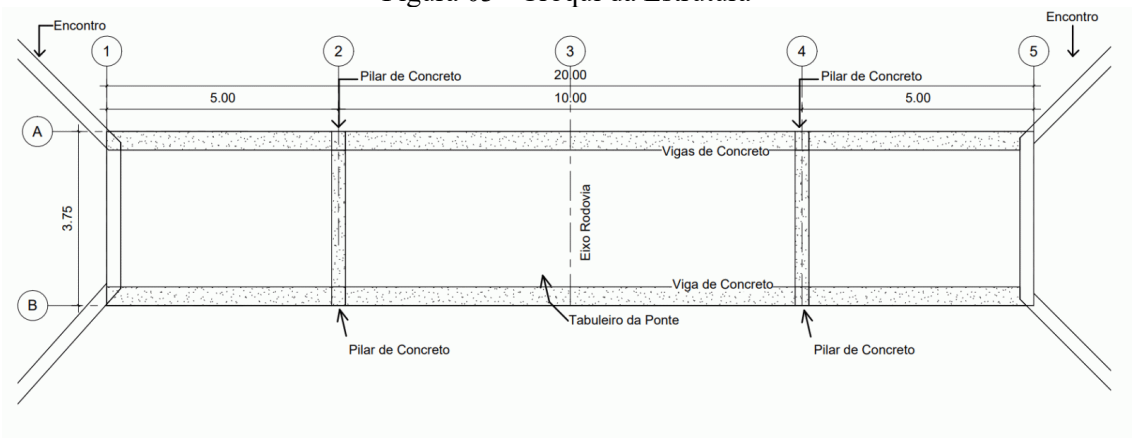
Figura 02 - Localização da edificação (5°01'33.0"S 43°18'32.0"W)



Fonte: Google Earth (2025)

A ponte em estudo caracteriza-se como uma ponte em viga, apresentando aproximadamente 20 m de comprimento e 3,75 m de largura. A estrutura é composta por um tabuleiro em laje maciça de concreto armado, com espessura de 15 cm, apoiado sobre duas longarinas pré-moldadas de concreto armado, com seção transversal de 25 cm × 65 cm. A superestrutura encontra-se subdividida em três vãos, sendo sustentada por quatro pilares intermediários de concreto, com seção de 30 cm × 40 cm, além de encontros de concreto nas extremidades da estrutura. Durante a vistoria não foi possível identificar a tipologia das fundações da ponte. A partir dessas informações, foi elaborado um croqui da estrutura da ponte, conforme apresentado na Figura 03.

Figura 03 - Croqui da Estrutura



Fonte: Os autores.

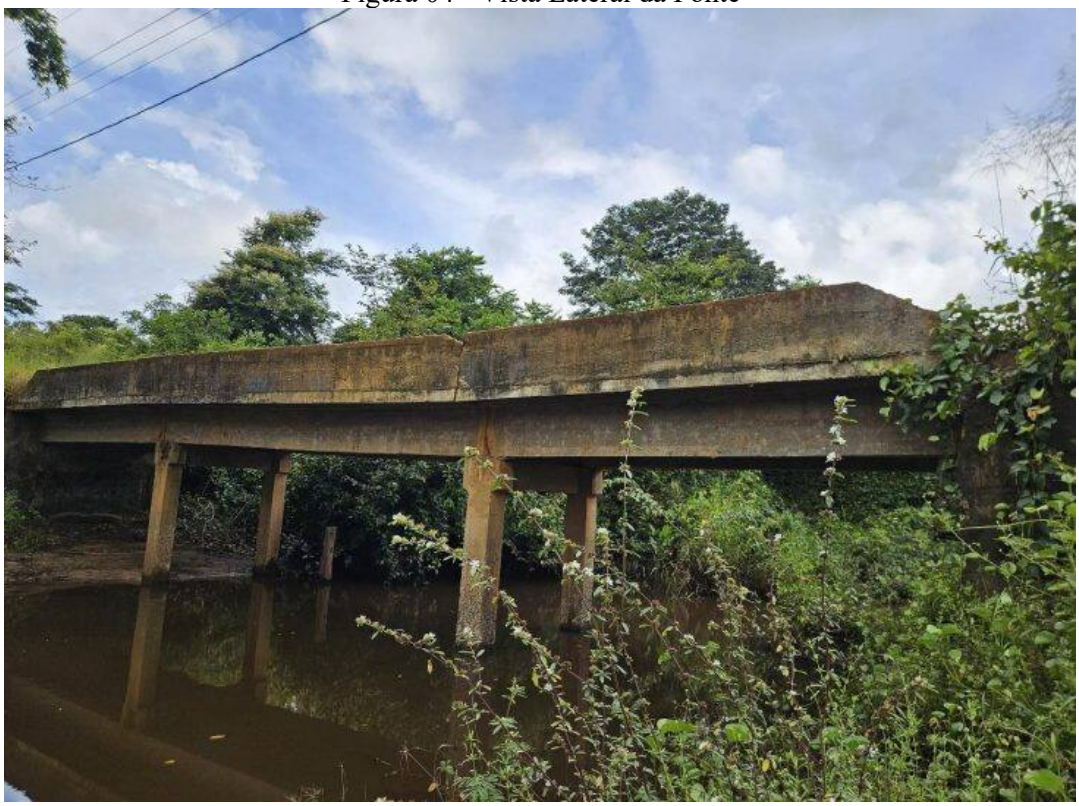
3.2 Coleta de dados

A coleta de dados teve como objetivo obter informações acerca das atuais condições de conservação e da integridade estrutural da ponte analisada. Para isso, foi realizada uma inspeção visual da estrutura, seguindo os procedimentos estabelecidos pelas normas técnicas aplicáveis.

Durante o levantamento em campo, foram utilizados instrumentos e equipamentos auxiliares, tais como prancheta, trena, fissurômetro, câmera fotográfica, cinto de segurança, capacete, marreta e ponteira para o ensaio de carbonatação, e solução de fenolftaleína a 1%, que possibilitaram o registro e a verificação das manifestações patológicas presentes na estrutura.

Ressalta-se que não foram disponibilizados projetos estruturais ou quaisquer documentos técnicos referentes à execução da obra. Dessa forma, as informações apresentadas baseiam-se nas informações disponíveis no momento da inspeção e nas observações obtidas por meio das vistorias *in loco* realizadas nas datas supracitadas, bem como os registros fotográficos coletados durante a visita técnica, incluindo a Figura 04, que apresenta a vista lateral da ponte.

Figura 04 - Vista Lateral da Ponte



Fonte: Os autores.

3.3 Análise Técnica

Com base nas observações obtidas durante a inspeção *in loco*, foi possível identificar diferentes manifestações patológicas e irregularidades construtivas que afetam o desempenho estrutural e a durabilidade da ponte analisada. Nesse contexto, a Tabela 01 apresenta uma síntese das anomalias verificadas, incluindo sua classificação, grau de severidade e considerações técnicas acerca dos impactos e das possíveis medidas corretivas

Tabela 01 - Classificação e grau de severidade das manifestações patológicas observadas na ponte.

ANAMALIA	CLASSIFICAÇÃO	GRAU DE SEVERIDADE	OBSERVAÇÕES
Recalque diferencial do apoio intermediário	Estrutural	Grave	Compromete estabilidade e exige intervenção imediata
Carbonatação eflorescência e corrosão	Funcional/durabilidade	Moderado a grave	Requer correção para evitar evolução do quadro
Apoio inadequado das vigas	Construtiva/Estrutural	Grave	Necessária regularização com introdução de aparelhos de apoio
Falha na Monoliticidade do encontro	Construtiva	Moderado	Recomenda-se reconstituição estrutural ou junta técnica apropriada
Ausência de Tratamento nas juntas de dilatação	Construtiva/ Funcional	Grave	Exige restabelecimento imediato da função das juntas

Fonte: Os autores.

3.3.1 Recalque Diferencial e Deslocamento da Superestrutura

Foi identificado recalque diferencial em um dos apoios intermediários da ponte, ocasionando o deslocamento da superestrutura, incluindo tabuleiro e longarinas. Essa movimentação resultou em desníveis visíveis e deformações estruturais, comprometendo a estabilidade e a funcionalidade da estrutura. As evidências dessa condição podem ser observadas nas Figuras 05 e 06.

A análise de imagens históricas do Google Earth, datadas de outubro de 2023, indica que anteriormente não havia indícios de afundamento ou anomalias no tabuleiro, sugerindo que a manifestação patológica possui ocorrência relativamente recente. Tal condição pode estar associada ao aumento do tráfego de veículos de maior porte, resultando em acréscimo de sobrecarga nos elementos estruturais.

Adicionalmente, observou-se que o processo executivo adotado apresenta incompatibilidades com o sistema estrutural da ponte, o que pode ter contribuído para a introdução de cargas não previstas, agravando o quadro observado.

Figura 05 - Afundamento no tabuleiro da ponte



Fonte: Os autores.

Figura 06 - Região crítica de deformação da ponte



Fonte: Os autores.

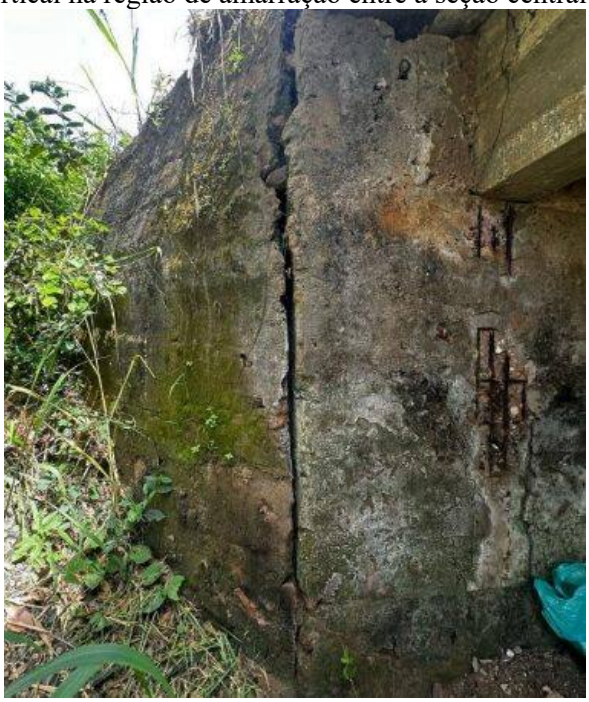
3.3.2 Degradação dos Materiais por Ação da Umidade

Com o uso dos materiais adequados, foram identificadas manifestações patológicas associadas à ação da umidade sobre os elementos estruturais da ponte, tais como carbonatação do concreto, evidenciada pela presença de eflorescências e manchas escuras; corrosão das armaduras, com indícios de desplacamento do cobrimento e exposição do aço; além da presença de trincas e fissuras, principalmente nas regiões dos encontros da ponte e na base dos pilares. Exemplos dessas ocorrências podem ser observados nas Figuras 07.

Essas manifestações indicam processos de degradação do concreto e perda da passivação das armaduras, comprometendo a durabilidade da estrutura. As condições de umidade favorecem a propagação da corrosão e a consequente redução da seção resistente das armaduras, afetando a capacidade estrutural dos elementos. Tal suscetibilidade à ação da umidade pode estar relacionada

ao emprego de materiais inadequados na execução da estrutura, bem como à ausência de mecanismos de proteção, fatores que contribuem para o desenvolvimento dessas manifestações patológicas e para a redução da vida útil da construção.

Figura 07 - Fissura vertical na região de amarração entre a seção central do encontro e as alas.



Fonte: Os autores.

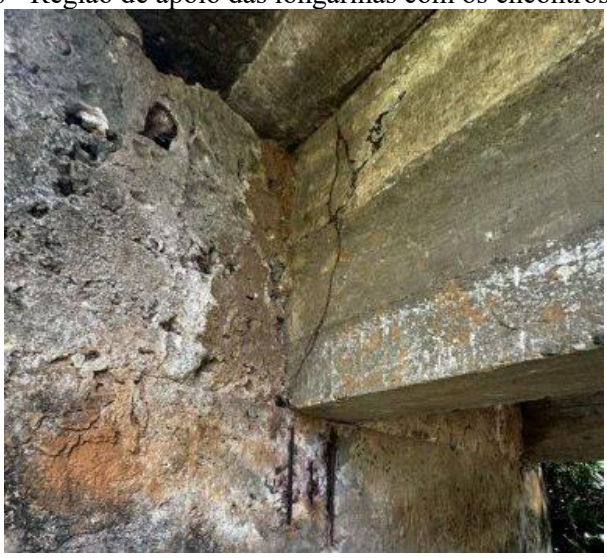
3.3.3 Deficiências Executivas e Construtivas

Constatou-se a presença de falhas executivas nos encontros da ponte e na superestrutura, principalmente nas ligações entre as longarinas e os elementos de suporte da estrutura, bem como a ausência de tratamento adequado das juntas de dilatação.

Em relação aos encontros, observou-se que a seção central foi executada de forma independente das alas do muro de encontro, resultando em uma estrutura não monolítica. Essa descontinuidade compromete a adequada transmissão de esforços entre os elementos estruturais e favorece o surgimento de fissuras verticais nas regiões de transição entre as alas e a seção central.

No que se refere à superestrutura, verificou-se que as longarinas pré-moldadas estão apoiadas diretamente sobre os encontros e pilares, sem a utilização de aparelhos de apoio. Essa solução é tecnicamente inadequada, pois compromete a distribuição uniforme das cargas verticais e horizontais, além de impedir os movimentos de dilatação, retração e possíveis recalques diferenciais entre os elementos estruturais. Como consequência, ocorre concentração de tensões que favorece o surgimento de falhas localizadas, situação evidenciada na Figura 08 .Esse tipo de ligação rígida, sem a presença de elementos de transição, não está alinhado às boas práticas construtivas aplicadas às Obras de Arte Especiais, podendo comprometer o desempenho estrutural e a durabilidade da ponte.

Figura 08 - Região de apoio das longarinas com os encontros da ponte



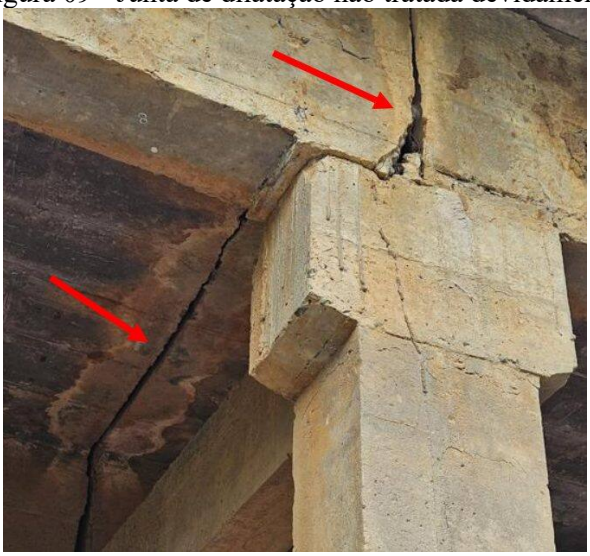
Fonte: Os autores.

3.3.4 Ausência de Tratamento Adequado das Juntas de Dilatação

Durante a inspeção também foi constatada a ausência de tratamento ou execução adequada das juntas de dilatação ao longo do tabuleiro e nos encontros da ponte, conforme ilustrado na Figura 09. Em diversos pontos, verificou-se o fechamento indevido dessas juntas ou sua obstrução por detritos e vegetação, além da presença de infiltrações nas bordas da estrutura.

A inexistência ou o comprometimento do funcionamento adequado das juntas de dilatação pode acarretar diversos problemas estruturais e funcionais, tais como a restrição à livre movimentação da estrutura frente às variações térmicas e aos carregamentos dinâmicos, a transferência indevida de tensões para os apoios e extremidades do tabuleiro, o favorecimento do surgimento de trincas longitudinais e transversais no revestimento, bem como a facilitação da infiltração de água pluvial e de agentes agressivos para o interior da estrutura, contribuindo para a aceleração de processos de degradação dos elementos estruturais.

Figura 09 - Junta de dilatação não tratada devidamente



Fonte: Os autores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos critérios estabelecidos pela DNIT 010/2004 – PRO, a ponte analisada foi classificada com Nota 01 – Obra Crítica, condição que indica comprometimento estrutural severo e elevado risco à segurança dos usuários. A análise técnica evidenciou a presença de anomalias estruturais, construtivas e funcionais de elevada gravidade, destacando-se o recalque diferencial em um dos apoios, a ausência de aparelhos de apoio adequados, o comprometimento das juntas de dilatação e a degradação dos elementos estruturais associada à ação da umidade, manifestada por processos de carbonatação, corrosão das armaduras e desplacamento do cobrimento de concreto. Tais condições comprometem significativamente a segurança estrutural, a durabilidade e a funcionalidade da ponte, exigindo a adoção de medidas corretivas imediatas.

Diante desse cenário, recomendam-se as seguintes ações técnicas: (i) interdição imediata da estrutura, seguida da realização de uma inspeção detalhada de nível III, com execução de sondagens e ensaios específicos para avaliação da capacidade estrutural e identificação das causas das falhas observadas; (ii) elaboração de projeto de reforço estrutural ou de substituição da ponte, com base nos resultados obtidos na inspeção detalhada; (iii) intervenção corretiva nos apoios danificados e na fundação afetada, visando restabelecer as condições adequadas de estabilidade da estrutura; (iv) instalação de aparelhos de apoio compatíveis com o sistema estrutural da ponte, garantindo adequada transferência de esforços e permitindo os movimentos estruturais previstos; (v) restabelecimento completo das juntas de dilatação, com utilização de materiais e técnicas apropriadas; e (vi) tratamento das manifestações patológicas associadas à ação da umidade, incluindo intervenções para mitigação da carbonatação, corrosão das armaduras e recomposição do cobrimento de concreto.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão (UNIFACEMA) pelo apoio institucional e incentivo à produção científica. Agradecem também à Liga Acadêmica de Tecnologia e Inovação do UNIFACEMA (LATEC) pelo estímulo à pesquisa, à inovação e ao desenvolvimento acadêmico, fatores que contribuíram para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro, 2003b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2023. Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BOLINA, Fabricio L.; TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo Roberto do L. Patologia de Estruturas. Porto Alegre: Oficina de Texto, 2025. E-book. p.6. ISBN 978-85-7975-340-4. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-7975-340-4/.

CAVALCANTE, Gustavo Henrique F. Pontes em concreto armado: análise e dimensionamento. São Paulo: Editora Blucher, 2019. E-book. p.20. ISBN 9788521218623. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521218623/.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Norma DNIT 010/2004: inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

DO NASCIMENTO, Felipe Bomfim Cavalcante. Corrosão em armaduras de concreto. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, v.3, n.1, p.177-188, 2015.

EL DEBS, Mounir Khalil. Pontes de concreto: com ênfase na aplicação de elementos pré-moldados. Oficina de Textos, 2022.

Fernanda Torres Gonçalves Cassavara, José Marcos Rodrigues Filho, & Rafaela Dos Santos Costa. (2023). Carbonatação em Estruturas de Concreto Armado. Tudo é Ciência: Congresso Brasileiro De Ciências E Saberes Multidisciplinares, (2). https://doi.org/10.47385/tudoeciencia.1064.2023

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo C.; SCHNAID, Fernando. Patologia das Fundações. 2. ed. Porto Alegre: Oficina de Texto, 2025. E-book. p.7. ISBN 9788579751820. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788579751820/.

ROCHA, Igor Lopes; RIBEIRO, Rafael Saulo Marques. Infraestrutura no Brasil: contexto histórico e principais desafios. 2022. Acesso em: 06 mar. 2026.

VALERIANO, Ricardo. Pontes. Porto Alegre: Oficina de Texto, 2025. E-book. p.7. ISBN 9786586235289. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786586235289/.

VERLY, Rogério Calazans. Conceitos essenciais sobre patologias em estruturas de concreto. Brasília: Escola Nacional de Administração Pública (ENAP), 2022. Disponível em: https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/7815. Acesso em: 7 mar. 2026.

WEIMER, Bianca F.; THOMAS, Maurício; DRESCH, Fernanda. Patologia das estruturas. Porto Alegre: SAGAH, 2018. E-book. p.14. ISBN 9788595023970. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595023970/.

CAPÍTULO 91 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/qcn0ng60
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/rn6r8k34

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ALVENARIA E REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS: ANÁLISE PRELIMINAR DE UM ESTUDO DE CASO EM UMA EDIFICAÇÃO PÚBLICA NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA–PA

Kercia Marcely Cardoso Dias[1]*, Lucielly Olavo da Costa[2]; Ellen Taís da Silva Pinheiro [3]; José Renato Lima Aguiar[4]; Jonas dos Santos Leite[5] e Matheus Viana de Souza[6]
Autor de contato: cmarcelly815@gmail.com

[1] Graduanda em engenharia civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba, Brasil
[2] Graduanda em engenharia civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba, Brasil
[3] Graduanda em engenharia civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba, Brasil
[4] Mestre em engenharia civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Grupo Amazônico de Pesquisa em Engenharia Civil – GAPEC, Itaituba, Brasil
[5] Doutor em engenharia civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Grupo Amazônico de Pesquisa em Engenharia Civil – GAPEC, Itaituba, Brasil
[6] Mestre em engenharia civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Grupo Amazônico de Pesquisa em Engenharia Civil – GAPEC, Itaituba, Brasil

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar as manifestações patológicas identificadas no pavimento superior de um prédio público, localizado no município de Itaituba-PA. Trata-se de uma pesquisa de natureza qualitativa, desenvolvida por meio de estudo de caso, com base em inspeção técnica *in loco*, com registro fotográfico e mapeamento das anomalias em planta baixa. A investigação evidenciou a predominância de problemas relacionados à umidade e a falhas de manutenção, os quais contribuíram para o processo de degradação dos elementos construtivos. A análise das prováveis causas foi fundamentada na literatura técnica, possibilitando a organização de propostas de intervenção compatíveis com as manifestações patológicas observadas. Os resultados reforçam a importância da inspeção periódica e da manutenção preventiva para garantir o desempenho e a durabilidade de edificações públicas.
Palavras-chave: manifestações patológicas; alvenaria; revestimentos argamassados; anomalias;

ABSTRACT

The present work aims to analyze the pathological manifestations identified on the upper floor of a public building, located in the municipality of Itaituba-PA. This is qualitative research, developed through a case study, based on on-site technical inspection, with photographic record and mapping of anomalies in the floor plan. The investigation showed the predominance of problems related to humidity and maintenance failures, which contributed to the degradation process of the construction elements. The analysis of the probable causes was based on the technical literature, enabling the organization of intervention proposals compatible

with the pathological manifestations observed. The results reinforce the importance of periodic inspection and preventive maintenance to ensure the performance and durability of public buildings.
Keywords: pathological manifestations; masonry; mortar coatings; anomalies;

1. INTRODUÇÃO

O processo de modernização do setor da construção civil, impulsionado pela demanda por maior eficiência cronológica e racionalização de materiais, resultou no surgimento de uma série de manifestações patológicas (Oliveira *et al*., 2019). De acordo com Santos (2014), a incidência destas manifestações está associada a desconformidades em uma ou mais fases do processo construtivo. Tais anomalias podem ocorrer durante a construção, no período de utilização ou após anos de conclusão da edificação.

Muitas dessas manifestações surgem em alvenarias convencionais, que apesar da existência de sistemas construtivos alternativos, permanece amplamente empregada em razão da simplicidade executiva e da flexibilidade para modificações em projeto. Entretanto, quando executada de forma inadequada, pode apresentar anomalias pós-construtivas nas paredes e revestimentos (Chinikoski, 2017). Os revestimentos argamassados constituem elemento fundamental para assegurar a durabilidade das edificações em alvenaria, uma vez que exercem função de proteção contra agentes agressivos externos e acomodam deformações naturais. Contudo, a incidência recorrente de patologias na alvenaria e nesses revestimentos acarreta prejuízos, o que torna indispensável a investigação de suas causas (Tavares, 2018).

A presença de manifestações pode comprometer a durabilidade da estrutura e elevar custos de manutenção. Nesse sentido, a NBR 5674 (ABNT, 2012) estabelece que a manutenção das edificações deve ser estruturada por meio de um sistema de gestão que contemple planejamento, programação, execução e controle das atividades, incluindo ações preventivas e corretivas, com o objetivo de preservar o desempenho da edificação e assegurar sua vida útil.

Nesse contexto, a análise de manifestações patológicas em edificações públicas possui relevância significativa, já que são construções destinada à prestação de serviço essencial à sociedade, cujo desempenho construtivo adequado é fundamental para garantir segurança, funcionalidade e condições apropriadas de trabalho aos usuários. Dessa forma, a manutenção deixa de ter caráter reativo e passa a constituir instrumento técnico fundamental para a conservação do patrimônio e para a garantia da segurança dos usuários.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar o levantamento de anomalias em alvenaria e revestimentos argamassados de um prédio público localizado no município de Itaituba-PA, identificar suas prováveis causas e proposição de medidas corretivas para cada tipo de patologia encontrada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceito e classificação das manifestações patológicas

De acordo com a NBR 5674, as edificações são projetadas para atender às demandas das atividades humanas, devendo garantir condições de conforto, segurança e estabilidade, além de resistir às

ações dos agentes ambientais, de modo a manter desempenho adequado ao longo de sua vida útil (ABNT, 2012). Nesse contexto, a crescente exigência por melhores condições de uso impulsionou o aprimoramento dos sistemas construtivos, com foco na durabilidade e na eficiência. Assim, o estudo das manifestações patológicas torna-se fundamental para o diagnóstico de falhas, subsidiando a melhoria das soluções construtivas e a prevenção de recorrências (Cordeiro; Barbosa; Boas, 2021).

Dessa forma, a patologia das edificações configura-se como uma área essencial da engenharia civil, dedicada ao estudo das origens, dos mecanismos de manifestação e das formas de correção das anomalias construtivas, bem como das medidas preventivas necessárias para assegurar o atendimento aos requisitos de desempenho. Tais anomalias podem estar associadas a falhas de projeto ou inadequações na execução (Caporrino, 2018).

Nesse contexto, as manifestações patológicas podem ser classificadas segundo diferentes critérios, sendo a origem uma das abordagens mais adotadas na literatura técnica, por permitir a identificação das causas e a definição de medidas corretivas adequadas. De modo geral, essas anomalias estão associadas a falhas nas etapas de projeto, execução, uso e manutenção, além da ação de agentes externos (Helene, 1988; Caporrino, 2018).

As falhas de projeto estão relacionadas à concepção inadequada da edificação, incluindo erros de dimensionamento, especificação de materiais e ausência de detalhamento construtivo, podendo comprometer o desempenho desde as fases iniciais. Já as falhas de execução decorrem de inadequações durante a construção, como uso incorreto de materiais e não conformidade com as boas práticas construtivas (Helene, 1988). Por sua vez, as manifestações patológicas associadas ao uso e à manutenção decorrem, em grande parte, da ausência de ações preventivas e corretivas ao longo da vida útil da edificação, condição que favorece tanto o surgimento quanto a evolução de anomalias, contribuindo para o agravamento dos danos e o aparecimento de novos problemas construtivos (Gonçalves, 2022).

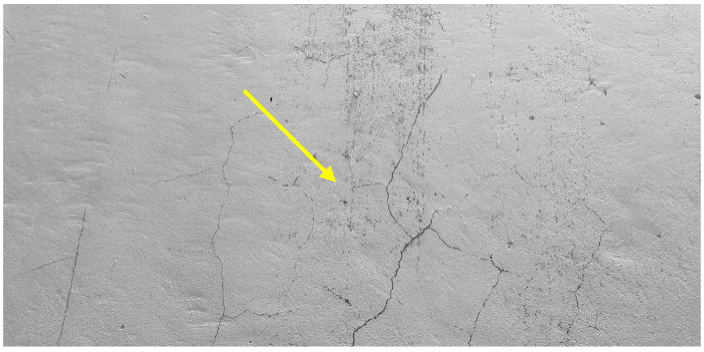
Além disso, a ação de agentes externos, como variações térmicas e presença de umidade, exerce influência significativa no surgimento de manifestações patológicas, especialmente em sistemas de vedação e revestimentos. Esses fatores podem induzir tensões nos materiais e acelerar processos de degradação, resultando em fissuração, destacamentos e outras anomalias (Thomaz, 1986).

3.2 Tipos de manifestações patológicas em alvenaria e revestimentos argamassados

As manifestações patológicas em alvenarias e revestimentos argamassados podem ser classificadas conforme suas características físicas e mecanismos de ocorrência, o que permite uma melhor compreensão de suas causas e dos impactos no desempenho das edificações. Essa sistematização é essencial para subsidiar diagnósticos adequados e a definição de medidas corretivas, contribuindo para a durabilidade e a vida útil das construções (Thomaz, 1986; Bauer, 2008).

Dentre as principais anomalias observadas em alvenarias, destacam-se as fissuras, trincas e rachaduras. Esses fenômenos correspondem a descontinuidades no material, diferenciando-se principalmente pela abertura e profundidade. Segundo Thomaz (1986), tais manifestações estão frequentemente associadas a movimentações estruturais, recalques diferenciais, variações térmicas, retração dos materiais e sobrecargas não previstas em projeto. Além de comprometerem o aspecto estético, podem evoluir para problemas mais graves, afetando a estabilidade e a estanqueidade da edificação.

Figura 1 - Fissura na base da alvenaria



Fonte: Caporrino,2018

A eflorescência também é uma manifestação comum, identificada pela presença de depósitos esbranquiçados na superfície da alvenaria. Conforme Bauer (2008), esse fenômeno ocorre devido à migração de sais solúveis presentes nos materiais, transportados pela água até a superfície, onde cristalizam após a evaporação. Embora não comprometa diretamente a estrutura, indica a presença de umidade, podendo estar associada a outros problemas mais severos.

As manifestações patológicas associadas à umidade e às infiltrações configuram-se entre as ocorrências mais recorrentes em alvenarias e revestimentos argamassados, podendo originar-se por mecanismos como capilaridade, penetração de água pluvial e condensação. A presença contínua de umidade favorece o desenvolvimento de agentes biológicos, como o bolor, que consiste em fungos que se proliferam predominantemente em superfícies internas (Galdino *et al.* 2017). A ocorrência desses microrganismos está diretamente relacionada à disponibilidade de umidade, sendo sua proliferação condicionada a ambientes com presença de água e circulação de ar (Galdino *et al.* 2017).

Figura 2 – Bolor



Fonte: Gonçalves, 2022

Por fim, outro mecanismo relevante é a desagregação ou pulverulência, caracterizada pela perda de coesão superficial dos materiais, tornando-os friáveis. Essa manifestação está geralmente

associada à baixa qualidade dos materiais, dosagens inadequadas ou à ação de agentes externos, como umidade e intempéries (Bauer, 2008). De forma complementar, o descolamento em placas representa a perda de aderência entre as camadas do revestimento, com destacamento de partes rígidas e formação de vazios. Suas causas estão relacionadas, principalmente, a deficiências na aderência, decorrentes de preparo inadequado da base, uso de argamassa incompatível ou execução inadequada do chapisco (Bauer, 2008).

3. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, desenvolvida por meio de um estudo de caso, com caráter descritivo e interpretativo, voltado à identificação e análise de manifestações patológicas em alvenaria e revestimentos argamassados em uma edificação pública.

Inicialmente, foi realizada revisão bibliográfica com o objetivo de fundamentar teoricamente a identificação, classificação e interpretação das manifestações patológicas, bem como compreender os mecanismos de degradação associados aos sistemas construtivos analisados.

A etapa de campo consistiu na realização de inspeção técnica, baseada predominantemente em análise visual dos elementos construtivos, sem a utilização de ensaios destrutivos ou semi-destrutivos. Essa abordagem caracteriza-se como uma avaliação preliminar, conforme a Norma Brasileira - NBR 16747 (ABNT, 2020), sendo adequada para a identificação de anomalias aparentes e levantamento das condições gerais da edificação.

Durante a inspeção, foram registradas as manifestações patológicas por meio de documentação fotográfica sistematizada, contemplando ocorrências como fissuras, infiltrações, descolamentos de revestimento e presença de agentes bióticos. Paralelamente, realizou-se o levantamento métrico da área analisada, possibilitando a elaboração de croqui técnico para representação espacial do ambiente e posterior mapeamento das anomalias identificadas. Esse mapeamento foi realizado conforme o método adotado por Lira *et al.* (2021), baseado na espacialização das patologias em planta e na organização sistemática dos dados coletados.

A análise dos dados consistiu na classificação das manifestações patológicas com base em suas características visuais e na correlação com os mecanismos de degradação descritos na literatura técnica descritas no capítulo anterior e em normas aplicáveis. As causas das anomalias foram tratadas como hipóteses diagnósticas, considerando as limitações inerentes à metodologia adotada.

Ressalta-se que o estudo apresenta limitações relacionadas à ausência de acesso a projetos executivos, especificações técnicas e histórico de manutenção da edificação, bem como à não realização de ensaios complementares. Dessa forma, os resultados obtidos correspondem a uma avaliação preliminar, não sendo possível estabelecer, de forma conclusiva, a origem das manifestações patológicas.

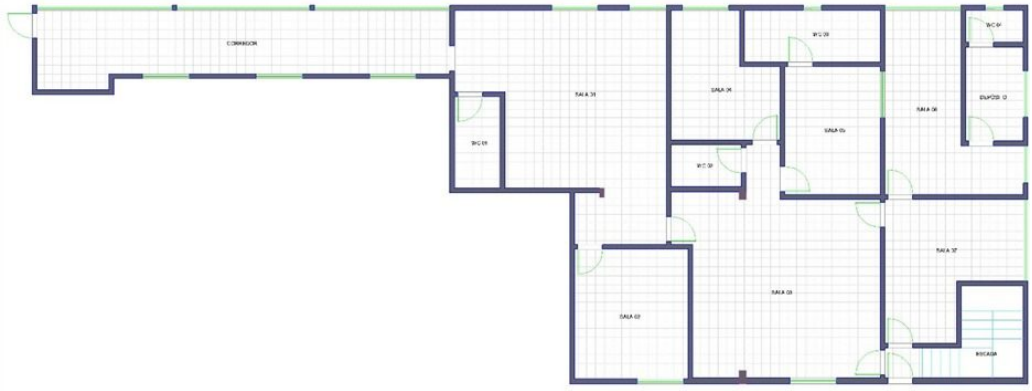
Ainda assim, o método adotado mostrou-se adequado para a identificação dos principais problemas presentes na edificação, permitindo a análise das condições de conservação e subsidiando a proposição de medidas corretivas compatíveis com as manifestações observadas.

3.1 Caracterização da área estudada

A edificação objeto deste estudo foi submetida a intervenções construtivas no ano de 2019, as quais se restringiram ao pavimento térreo, não abrangendo o pavimento superior. Em razão disso, a presente pesquisa concentrou-se nesse nível da edificação, onde se observou a ocorrência significativa de manifestações patológicas. As condições verificadas indicam um processo de degradação associado, principalmente, à ausência de manutenção adequada, comprometendo o desempenho e a durabilidade dos sistemas construtivos.

A visita técnica in loco foi realizada no dia 27 de novembro de 2025, no período matutino, com o objetivo de proceder à inspeção visual da edificação. A atividade contou com o acompanhamento de um representante da instituição, responsável por viabilizar o acesso às dependências e fornecer suporte durante a inspeção. Para otimizar a coleta de dados e ampliar a abrangência da análise, os participantes foram organizados em grupos, permitindo a avaliação simultânea de diferentes setores da edificação. O grupo ao qual esta pesquisa se refere ficou responsável pela inspeção de um setor específico, com área de 236,59 m². A delimitação dessa área foi realizada a partir de levantamento métrico em campo, subsidiando a elaboração de croqui técnico para representação espacial do ambiente analisado e posterior mapeamento das manifestações patológicas identificadas, conforme apresentado na Figura 3.

Figura **3** – Croqui da edificação



Fonte: Dos autores, 2026

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Anomalias identificadas

4.1.1 Umidade

A análise realizada evidenciou a predominância de manifestações patológicas associadas à presença de umidade, configurando-se como o principal agente de degradação da edificação estudada. As ocorrências foram identificadas principalmente na interface entre laje e elementos verticais, bem como ao longo das paredes, manifestando-se por meio de manchas, descascamento da pintura, formação de bolhas e proliferação de microrganismos. Esse comportamento é compatível com o descrito por Souza (2008), que aponta a infiltração de água como uma das principais causas de deterioração em edificações, especialmente quando associada a falhas no sistema de impermeabilização.

Nesse contexto, a recorrência das manifestações sugere deficiência na proteção da cobertura, possivelmente relacionada à ausência ou degradação do sistema impermeabilizante, em desacordo com as diretrizes estabelecidas pela norma brasileira NBR 9574 (ABNT, 2008) que trata da execução desses sistemas, abordando procedimentos construtivos, preparo de substrato, aplicação e controle de qualidade, de modo a garantir a eficiência da impermeabilização ao longo da vida útil da edificação.

Figura 4 – Umidade



(a) (b)

Fonte: Dos autores, 2026

Além disso, a propagação da umidade para os elementos adjacentes favorece o desenvolvimento de bolor, cuja presença indica condições ambientais com elevada umidade relativa e baixa ventilação, como pode ser observado na Figura 5. Esse processo, além de comprometer o desempenho dos materiais, pode afetar as condições de salubridade do ambiente interno.

Figura 5 - Bolor decorrente da umidade



Fonte: Das autoras, 2026

A concentração dessas manifestações no pavimento não contemplado pela reforma reforça a influência direta da ausência de manutenção, conforme preconiza a NBR 5674, evidenciando a necessidade de intervenções corretivas associadas à eliminação da fonte de umidade.

4.1.2 Descolamento por empolamento e em placas

Os descolamentos observados foram identificados tanto na forma de empolamento quanto em placas, caracterizando perda de aderência entre as camadas do revestimento argamassado e a base.

Essas anomalias indicam falhas nos mecanismos de ancoragem e compatibilidade entre materiais. No caso do empolamento por pulverulência, observa-se na figura 6 um comportamento compatível com o descrito por Bauer (2008), relacionado à hidratação tardia de compostos presentes na argamassa, resultando na formação de tensões internas que promovem o destacamento superficial. Essas vesículas causadas pela hidratação da cal surgem de forma pontual, expandindo-se e ocasionando o destacamento da pintura, com consequente exposição do reboco.

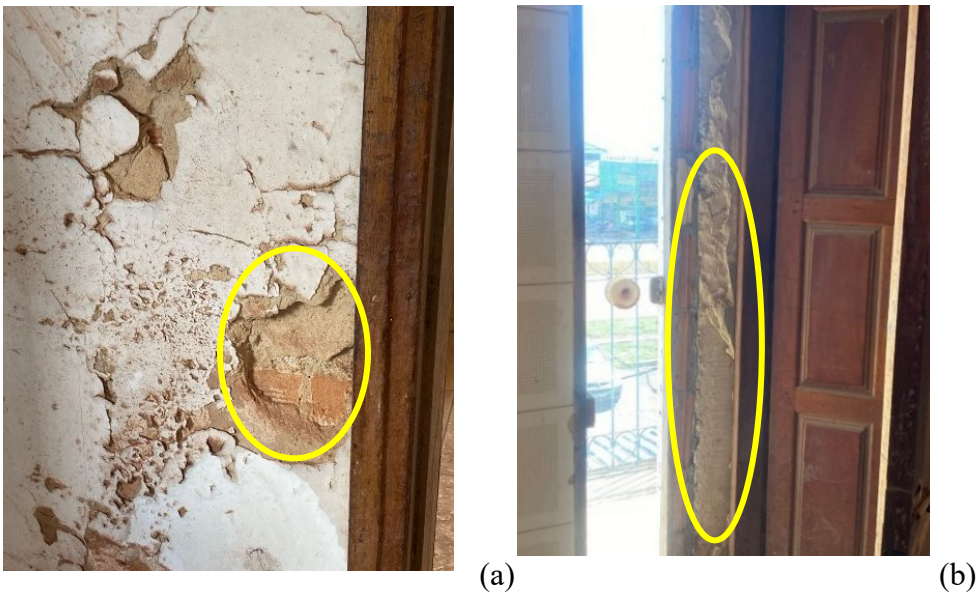
Figura 6 - Descolamento por empolamento



Fonte: Dos autores, 2026

A ocorrência de descolamento em placas observada em campo indica deficiência na aderência entre as camadas do revestimento e a base. Caporrino (2018) associa esse tipo de manifestação à ausência de chapisco, à aplicação de argamassa em espessura inadequada e à utilização de traços incompatíveis. Tais fatores comprometem a ancoragem do revestimento, favorecendo o destacamento das placas, conforme verificado nas áreas inspecionadas ilustrada na figura 7.

Figura 7 - descolamento em placa



(a) (b)

Fonte: Dos autores, 2026

A associação entre descolamento e presença de umidade também foi constatada, indicando que a infiltração atua como fator agravante, reduzindo a resistência de aderência e acelerando o processo de degradação.

4.1.3 Fissuras

A edificação apresentou elevada incidência de fissuras, distribuídas em diferentes elementos e com variadas configurações, incluindo fissuras horizontais, verticais, inclinadas e mapeadas, evidenciando a atuação simultânea de múltiplos mecanismos de degradação. As fissuras horizontais observadas na base das alvenarias, ilustradas na Figura 8, indicam a influência da umidade por capilaridade associada às movimentações higroscópicas dos materiais. Conforme Caporrino (2018), esse tipo de manifestação é recorrente em edificações que apresentam deficiência de barreiras contra a ascensão de umidade, condição também verificada durante a inspeção *in loco*.

Figura 8 – Fissuras horizontais



Fonte: Dos autores, 2026

As fissuras mapeadas identificadas nos revestimentos, evidenciadas na Figura 9, indicam a ocorrência de processos de retração da argamassa, possivelmente associados a traços inadequados, elevado teor de finos e condições deficientes de cura. De forma complementar, a fissuração observada na edificação sugere a atuação de mecanismos relacionados à incompatibilidade de deformações entre os elementos construtivos, conforme discutido por Thomaz (1986), podendo ser intensificada por variações térmicas e higroscópicas. No contexto do presente estudo, a ausência de informações sobre o sistema estrutural limita a determinação precisa das causas, sendo as análises baseadas nos padrões identificados em campo e na sua correlação com os mecanismos descritos na literatura.

Figura 9 - fissuras mapeadas



Fonte: Dos autores, 2026

4.1.4 Agentes bióticos e danos antrópicos

Ao longo da inspeção realizada, foram identificados diversos indícios da presença de agentes bióticos, especialmente insetos, na edificação. Observa-se a existência de galerias e acúmulo de material terroso aderido às superfícies das paredes, característicos da ação de insetos xilófagos e/ou subterrâneos, bem como pontos de perfuração e deterioração localizada em elementos de revestimento e forro, como ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Sinais de agentes bióticos



(a) (b)

Fonte: Dos autores, 2026

Além disso, constatou-se significativa ocorrência de danos antrópicos, caracterizados por intervenções inadequadas, impactos mecânicos, perfurações indevidas e alterações não planejadas nos elementos construtivos. Tais ações refletem o uso sem controle técnico e a ausência de manutenção adequada, contribuindo para a degradação da edificação e para o agravamento das manifestações patológicas.

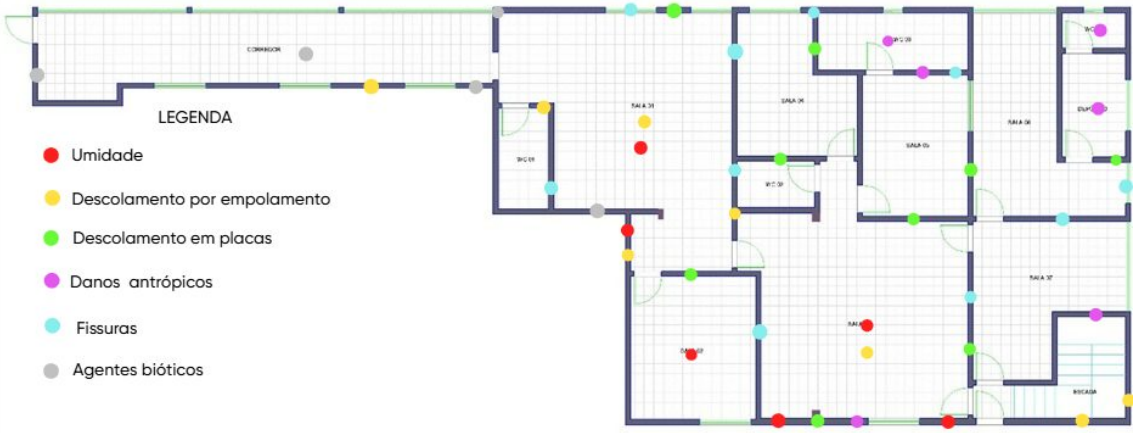
Figura 11 - Danos antrópicos



Fonte: Dos autores, 2026

A Figura 12 apresenta o croqui da edificação com o mapeamento das manifestações patológicas identificadas durante a etapa de inspeção. A representação gráfica evidencia a distribuição espacial das ocorrências, classificadas conforme a legenda em: umidade, descolamento por empolamento, descolamento em placas, danos antrópicos, fissuras e agentes bióticos. O mapeamento permitiu visualizar padrões de recorrência e subsidiou a análise qualitativa das causas prováveis, contribuindo para uma compreensão integrada do estado de conservação da edificação.

Figura 12 - Mapeamento das manifestações em croqui



Fonte: Dos autores, 2026

Ressalta-se que, devido às limitações metodológicas do estudo, especialmente a ausência de análise de projetos e de ensaios técnicos, as causas identificadas devem ser interpretadas como hipóteses diagnósticas. Ainda assim, os resultados obtidos são consistentes com a literatura e permitem a proposição de medidas corretivas adequadas às condições observadas.

3.2 Proposta de reparo

A partir das manifestações patológicas identificadas durante a visita *in loco*, propõe-se a organização das medidas corretivas indicadas para cada anomalia constatada. As intervenções

foram fundamentadas nas orientações de Caporrino (2018), levando em consideração as causas prováveis, os mecanismos de degradação atuantes e as técnicas de reparo mais adequadas a cada situação.

Para melhor organização e compreensão, as intervenções serão apresentadas no quadro 1 a seguir, relacionando cada patologia identificada às respectivas causas prováveis e às soluções técnicas recomendadas. Essa sistematização visa facilitar a análise comparativa, contribuir para a tomada de decisão quanto às medidas corretivas e servir como instrumento orientador para futuras ações de manutenção na edificação.

Quadro 1 - Medidas corretivas para as anomalias

Patologias	Prováveis causas	Medidas corretivas
Manchas de umidade e proliferação bolor	• Presença contínua de umidade no elemento construtivo. • Existência de sais solúveis nos componentes da alvenaria. • Presença de sais solúveis na água de amassamento ou provenientes de umidade infiltrada. • Baixa incidência de insolação na área afetada.	• Correção das fontes de infiltração e eliminação da umidade. • Promoção da secagem adequada do revestimento. • Escovação da superfície para remoção de depósitos. • Recuperação ou substituição do revestimento em caso de pulverulência. Limpeza da área afetada com solução de hipoclorito.
Descolamento por empolamento	• Infiltração de umidade. • Hidratação retardada do óxido de magnésio da cal.	• Renovação da camada de reboco • Renovação da pintura
Descolamento em placas	• A superfície de contato com a camada inferior apresenta placas frequentes de mica. • Argamassa muito rica. • Argamassa aplicada em camada muito espessa. • A superfície da base é muito lisa. • A superfície da base está impregnada com substância hidrófuga. • Ausência da camada de chapisco. • Argamassa magra.	• Apicoamento da base para remoção de partes soltas e preparação adequada da superfície. • Eliminação de camadas ou substâncias hidrofugantes. • Aplicação de chapisco ou outro método de preparo superficial para melhoria da ancoragem do novo revestimento. • Remoção total das áreas com descolamento em placa, seguida da execução de novo revestimento.
Fissuras horizontais	• Presença de água por capilaridade e respingos	• Eliminar a presença de umidade. • Avaliar o comprometimento da alvenaria estrutural, realizando reforço quando possível ou reconstrução nos casos mais graves
Fissuras em mapas	• Retração da argamassa de base.	• Renovação do revestimento. • Renovação da pintura.

Fonte: Caporrino, 2018

5. CONCLUSÃO

A visita técnica realizada permitiu identificar diversas manifestações patológicas associadas principalmente à falta de manutenção contínua, às condições ambientais do local e às intervenções humanas realizadas sem recomposição adequada. O pavimento superior, por não ter sido contemplado na reforma de 2019, apresenta um número elevado de anomalias, evidenciando o desgaste natural da edificação e a ação acumulada de agentes físicos, biológicos e operacionais.
Constatou-se que as infiltrações oriundas da cobertura desempenham papel central no desencadeamento de diversas anomalias. Cada uma dessas manifestações demonstra a necessidade de intervenções corretivas para restabelecer o desempenho, a durabilidade e a segurança do ambiente construído. Além disso, reforça-se a importância do monitoramento periódico, da execução adequada de reparos e da implementação de medidas preventivas, essenciais para evitar agravamentos e prolongar a vida útil dos elementos estruturais e de acabamento.
A sistematização das manifestações observadas, aliada à análise de suas prováveis causas com base na literatura técnica, permitiu estruturar um conjunto de propostas de intervenção coerentes com a natureza das anomalias identificadas. O mapeamento das ocorrências e a organização das medidas corretivas em quadro síntese conferem caráter técnico e aplicado ao estudo, reforçando a importância de ações preventivas e de uma gestão de manutenção eficaz para garantir o desempenho, a segurança e a durabilidade da edificação ao longo de sua vida útil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747**: Inspeção predial — Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674:** Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574**: Execução de impermeabilização. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CAPORRINO, C F. **Patologia em Alvenarias**. 2. ed. Porto Alegre: Oficina de Texto, 2018. E-book. ISBN 978-85-7975-308-4. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-7975-308-4/. Acesso em: 19 fev. 2026.

CHINIKOSKI, J. C. **Patologias em alvenaria convencional e revestimento (reboco) de alvenaria**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Pitágoras de Londrina, Londrina, 2017. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/16439/1/JEAN%20CARLOS%20CHINIKOSKI.pdf. Acesso em: 17 de fev. 2026

CORDEIRO, J. T. de L.; BARBOSA, V. M.; BOAS, D. C. C. V. Levantamento das manifestações patológicas da construção civil: um estudo em residência domiciliar na Cidade de São Luís, Maranhão. **Research, Society and Development**, *[S. l.]*, v. 10, n. 12, p. e184101220487, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i12.20487. Disponível em: https://rsdjournal.org/rsd/article/view/20487. Acesso em: 21 abr. 2026.

GALDINO, L. R. N.; SILVA, A. L. da.; ALVES, D. M. de L.; MELLO, M. F. B. W. C. de.; GOMES, T.C.P.; GONZAGA, B.M.G. Estudo de caso: Patologias mais recorrentes nas residências da comunidade Rafael. 2017. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas**-UNIT-ALAGOAS, v. 3, n. 3, p. 107, 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/72967732/Estudo_De_Caso_Patologias_Mais_Decorrentes_Nas_Resid%C3%AAncias_Da_Comunidade_Rafael. Acesso em: 18 de fevereiro 2026.

GONÇALVES, F. F. **Diagnóstico das manifestações patológicas da edificação sede do 6º Batalhão de Polícia Militar na cidade de Cajazeiras-PB**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Cajazeiras, Cajazeiras, 2022. Disponível em: https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/2496. Acesso em: 16 fev. 2026.

HELENE, P. R. L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. 1988. São Paulo: Pini. Disponível em: https://pt.scribd.com/document/445397657/HELENE-MANUAL-PRATICO-PARA-REPARO-E-REFORCO-DE-ESTRUTURAS-DE-CONCRETO-PAULO-HELENE-pdf. Acesso em: 21 abr. 2026.

LIRA, V.Q.; MORAIS, G. A. T. de.; ABREU, M. M. de.; LORDSLEEM JR, A. C. Diagnóstico e recuperação de manifestações patológicas em alvenarias de vedação de um hospital brasileiro. 2021. Revista engenharia e pesquisa aplicada. v. 6, n. 1, p. 44-53, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.25286/repa.v6i1.1388. Acesso em: 10 fev. 2026.

OLIVEIRA, G. M. V. de; CALDEIRA, P. H. A; JÚNIOR, L. A. da. S; VIERA, A. de. C. Análise de preenchimentos em alvenaria – Estudo de caso: UEMG – Unidade João Monlevade. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, *[S. l.]*, v. 12, pág. e368121617, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i12.1617. Disponível em: https://rsdjournal.org/rsd/article/view/1617. Acesso em: 16 fev. 2026.

SANTOS, C. F. dos**. Patologia de estruturas de concreto armado.** 2014. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: https://www.academia.edu/download/52272959/TCC_CAMILA_FREITAS_DOS_SANTOS.pdf. Acesso em: 16 de fev. 2026

SANTOS, C. F. dos**. Patologia de estruturas de concreto armado**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: https://www.academia.edu/download/52272959/TCC_CAMILA_FREITAS_DOS_SANTOS.pdf. Acesso em: 16 de fev. 2026

SOUZA, M. F. de**. Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações**. Monografia (Especialização em Construção Civil: Avaliações e Perícias), Departamento de Engenharia de Materiais de Construção, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: https://www.academia.edu/37931377/Universidade_Federal_de_Minas_Gerais_PATOLOGIAS_OCASIONADAS_PELA_UMIDADE_NAS_EDIFICA%C3%87%C3%95ES. Acesso em: 18 de fev. 2026.

TAVARES, B. C. **Patologias em alvenaria e revestimento de argamassa.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Anhanguera de Santo André, Santo André, 2018. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/22829/1/BEATRIZ%20DO%20COUTO%20TAVARES.pdf. Acesso em: 17 de fev. 2026.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação.** 1986. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-12042024-091822/. Acesso em: 21 abr. 2026.

CAPÍTULO 92 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/wq80dc67
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/49zyhw05

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS: ESTUDO DE CASO EM VIAS URBANAS DE ITAITUBA-PA

Kercia Marcely Cardoso Dias[1]*, Lucielly Olavo Costa[2]; Ellen Taís da Silva Pinheiro [3]; Matheus Viana de Souza[4] e Marcela Santos da Silva[5]
Autor de contato: cmarcelly815@gmail.com

[1] Graduanda em engenharia civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba, Brasil
[2] Graduanda em engenharia civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba, Brasil
[3] Graduanda em engenharia civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba, Brasil
[4]Mestre em engenharia civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Grupo Amazônico de Pesquisa em Engenharia Civil – GAPEC, Itaituba, Brasil
[5] Docente no curso de engenharia civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba, Brasil

RESUMO

O presente estudo analisa as manifestações patológicas em pavimentos flexíveis no município de Itaituba-PA, com foco em trincas, afundamentos e escorregamentos. A pesquisa adotou abordagem qualitativa, baseada em estudo de caso, com levantamento bibliográfico e inspeções técnicas *in loco* em três vias urbanas com intenso tráfego de veículos pesados. Os resultados indicaram predominância de trincas do tipo "couro de jacaré", além da ocorrência de afundamentos plásticos, afundamentos por consolidação e escorregamento do revestimento. As manifestações observadas estão associadas ao tráfego intenso, a falhas de dimensionamento e execução, à deficiência de drenagem e à ausência de manutenção preventiva. Conclui-se que a falta de manutenção contribui para a degradação precoce dos pavimentos, sendo fundamental a adoção de estratégias periódicas de conservação para garantir sua durabilidade.
Palavras-chave: pavimentos flexíveis; manifestações patológicas; trinca; afundamento; escorregamento.

ABSTRACT

The present study analyzes the pathological manifestations in flexible pavements in the municipality of Itaituba-PA, focusing on cracks, sinkings and slips. The research adopted a qualitative approach, based on a case study, with a bibliographic survey and on-site technical inspections on three urban roads with intense heavy vehicle traffic. The results indicated a predominance of "alligator leather" cracks, in addition to the occurrence of plastic subsidence The manifestations observed are associated with heavy traffic, design and execution failures, drainage deficiency and the absence of preventive maintenance. It is concluded that the lack of maintenance contributes to the early degradation of pavements, and it is essential to adopt periodic conservation strategies to ensure their durability.
Keywords: flexible pavements; pathological manifestations; crack; sinking; slippage.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o modo de deslocamento mais utilizado é o rodoviário, sendo este responsável pelo movimento de 65% das mercadorias e 95% dos passageiros (Balduino e Cosmo, 2022). Embora essa malha seja a mais desenvolvida e amplamente utilizada no país, os autores afirmam que para obter maior desempenho e vida útil do pavimento, é necessário desenvolver um projeto viário bem planejado, que seja condizente com as solicitações existentes e leve em consideração os possíveis aumentos que possam vir a acontecer, em virtude das alterações quanto ao uso e ocupação do solo; além da realização de um controle rigoroso durante a execução, previsão de sistemas de drenagem eficientes, e manutenções periódicas.

No entanto, observa-se um distanciamento entre o desempenho idealizado e a conservação real das vias. Essa lacuna é evidenciada pelos dados da Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2021), que apontam que 61,9% das rodovias analisadas no Brasil apresentam algum tipo de problema em seu estado geral, com 52,2% dos trechos exibindo deficiências no pavimento. Tais estatísticas revelam falhas críticas na manutenção, o que intensifica a necessidade de estudos voltados à identificação e correção das manifestações patológicas encontradas nas vias.

Nesse contexto, compreender as causas das manifestações patológicas é fundamental para avaliar o desempenho dos pavimentos. De acordo com Santos *et al.* (2023), os materiais empregados em obras de infraestrutura estão sujeitos a alterações físicas e químicas provocadas por agentes ambientais, o que pode desencadear processos de deterioração. Embora o pavimento asfáltico apresente vida útil estimada de até 12 anos, a CNT (2017) destaca que falhas podem surgir em períodos muito inferiores, demonstrando a influência direta de aspectos construtivos, ambientais e de manutenção na sua durabilidade.

Entre as manifestações patológicas mais comuns em pavimentos destacam-se as trincas, os afundamentos e os escorregamentos, que podem ser causados por fatores como falhas no projeto, execução inadequada, excesso de carga, drenagem insuficiente ou ausência de manutenção preventiva. A presença desses danos não apenas reduz o conforto dos usuários, mas também aumenta os custos de conservação, e pode representar riscos à segurança viária.

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo analisar os principais danos estruturais em diferentes vias, de elevada relevância na cidade de Itaituba - Pará, sejam elas: a Estrada do 53º Batalhão de Infantaria de Selva (53º BIS); a Rua Francisco Macedo, e a Avenida Marechal Rondon, com o intuito de subsidiar ações de manutenção preventiva e corretiva que contribuam para a melhoria da qualidade e durabilidade das vias.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tipos de Pavimentos

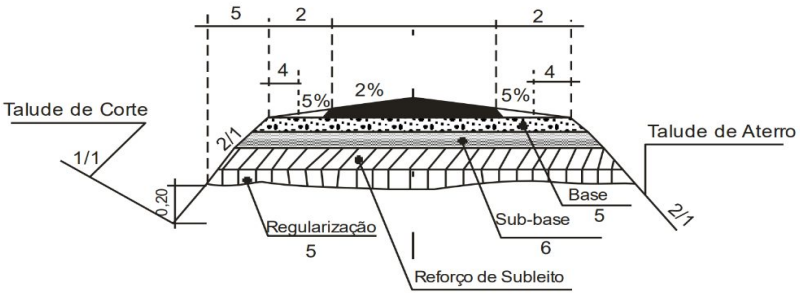
Segundo Salomão e Fróes (2023), pavimento é a estrutura das vias de rolamento destinada à circulação de usuários, composta por camadas dimensionadas para resistir às cargas do tráfego e às ações ambientais, garantindo conforto, segurança e eficiência econômica. Conforme o DNIT (2006), os pavimentos classificam-se em flexíveis, semirrígidos e rígidos; contudo, este estudo aborda apenas os pavimentos flexíveis, por serem os adotados nas vias analisadas

2.1.1 Pavimento Flexível

Segundo Lima e Silva (2023), o pavimento flexível é uma estrutura maleável que distribui as cargas entre suas camadas, o que contribui para sua durabilidade e capacidade de suportar grandes solicitações. Amplamente utilizado no Brasil, é composto por diferentes camadas, conforme ilustra a Figura 1, onde cada uma atua com função específica na distribuição de cargas, conforme definido pelo DNIT (2006):

- **Pavimento:** estrutura executada após a terraplenagem, destinada a resistir e distribuir as cargas do tráfego ao subleito, garantindo conforto e durabilidade.
- **Subleito:** terreno natural que funciona como fundação do pavimento.
- **Leito:** superfície resultante da terraplenagem, conformada conforme o greide e os perfis transversais.
- **Reforço do subleito:** camada com espessura uniforme que melhora a capacidade de suporte do subleito, visando eficiência técnica e econômica.
- **Sub-base:** camada complementar à base, com função estrutural e econômica.
- **Base:** responsável por suportar e distribuir as cargas dos veículos às camadas inferiores, garantindo estabilidade ao revestimento.
- **Revestimento:** camada superficial que impede a infiltração de água e resiste às ações do tráfego, proporcionando segurança, conforto e durabilidade.

Figura 1 - Esquema de seção transversal do pavimento



Fonte: DNIT (2006)

2.2 Classificação das manifestações patológicas

2.2.1 Trincas

Trincas são fissuras superficiais que surgem no pavimento em decorrência da fadiga do material, perda de coesão, esforços repetitivos, variações de temperatura ou falhas estruturais, estas podem aparecer de forma isolada ou interligada. (DNIT, 2003).

Quando isoladas, são classificadas conforme a direção e o comprimento: transversais (perpendiculares ao eixo da via) ou longitudinais (paralelas ao eixo), podendo ser curtas, com até 100 cm, ou longas, com extensão superior a 100 cm (DNIT, 2003)

As trincas de retração estão associadas a variações térmicas do revestimento ou de camadas rígidas e semirrígidas, não estando diretamente relacionadas à fadiga. Essas anomalias são ilustradas na Figura 2.

Figura 2 - (a) trinca isolada transversal; (b) trinca isolada longitudinal; (c) trinca isolada de retração



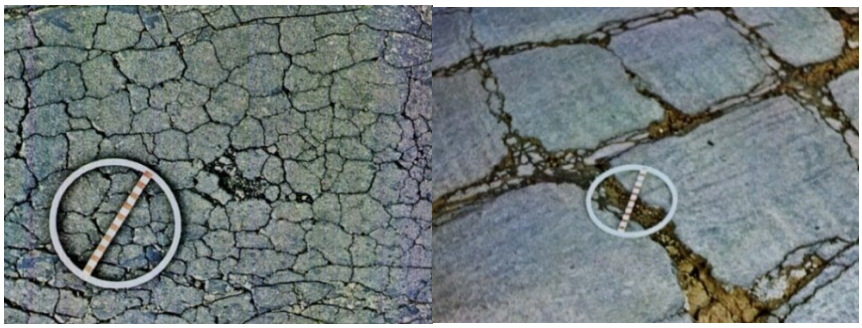
(a) (b) (c)

Fonte: DNIT (2003); SENÇO (2008)

Além das isoladas, destacam-se as trincas interligadas, que se manifestam em padrões específicos. A trinca tipo “couro de jacaré” caracteriza-se por um conjunto de trincas sem direção preferencial, formando uma malha que se assemelha ao couro de jacaré, Figura 3(a). Essas trincas podem, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas e são causadas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga. (DNIT, 2003).

Já a trinca do tipo “bloco” é composta por trincas interligadas que formam figuras geométricas bem definidas, semelhantes a blocos, também podendo apresentar erosão em suas bordas. Esta manifestação surge devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento (DNIT, 2003), Figura 3(b).

Figura 3 - (a) Trinca interligada tipo couro de jacaré (b)Trinca interligada tipo bloco



(a) (b)

Fonte: DNIT (2003)

2.2.2 Afundamentos

Os afundamentos são deformações caracterizadas pela presença de uma depressão na superfície do pavimento, podendo ou não vir acompanhada de solevamento (Marques, 2006). Segundo Lehmert (2020), os afundamentos podem ser classificados em dois tipos principais: afundamento plástico e afundamento de consolidação.

De acordo com a CNT (2018), o afundamento plástico é causado pela deformação permanente das camadas do pavimento ou do subleito, geralmente acompanhado de solevamento lateral, estando relacionado ao excesso de ligante, ou ao uso de revestimento inadequado para as cargas atuantes.

Esse tipo de patologia é classificado como local, quando possui até 6,0 metros de extensão, conforme ilustra a Figura 4(a) e, quando ultrapassa esse limite, ao longo da trilha de roda, é denominado afundamento plástico da trilha de roda (DNIT, 2003), Figura 4(b).

Figura 4 - (a) Afundamento plástico nas trilhas de roda; (b) Afundamento plástico local



(a) (b)

Fonte: SindEtrans (2018)

Por sua vez, o afundamento de consolidação decorre da compactação insuficiente ou da consolidação diferencial entre as camadas do pavimento, não sendo acompanhado de solevamento. Essa manifestação tende a se intensificar com o tráfego contínuo de veículos pesados (CNT,2018).

Quando sua extensão é de até 6,0 metros, é considerado afundamento de consolidação local, Figura 5(a). Se ultrapassar essa distância no sentido paralelo ao eixo da via, caracteriza-se como afundamento de consolidação da trilha de roda (CNT, 2018), Figura 5(b).

Figura 5 - (a) Afundamento de consolidação local (b) Afundamento de consolidação da trilha de roda



(a) (b)

Fonte: Bernucci et al. (2022)

2.3.3 Escorregamento

De acordo com DNIT (2006), o escorregamento é caracterizado pelo deslocamento horizontal do revestimento, causado por esforços tangenciais provenientes da frenagem e aceleração dos veículos, resultando em ondulações abruptas na superfície do pavimento, geralmente em forma de meia-lua, Figura 6.

As principais causas do surgimento desta anomalia incluem ligação inadequada entre o revestimento e a camada subjacente, espessura reduzida do revestimento, compactação deficiente e fluência plástica devido a altas temperaturas (DNIT, 2006).

Inicialmente, o defeito se manifesta por trincas parabólicas e, com o tempo, ocorre a separação do revestimento, expondo as camadas inferiores. É mais comum em áreas de esforço intenso como aclives, declives, curvas de pequeno raio, interseções, paradas de ônibus e em trechos com obstáculos como lombadas e sonorizadores (DNIT, 2006).

Figura 6 - Escorregamento



Fonte: SINTRALOG, 2019.

3. ESTUDO DE CASO

O presente trabalho adota uma abordagem qualitativa, fundamentada no método de estudo de caso, com o objetivo de analisar as manifestações patológicas em pavimentos flexíveis. Considerando a necessidade de articular embasamento teórico e análise da realidade investigada, a pesquisa foi estruturada em três etapas principais: levantamento bibliográfico e documental; coleta de dados em campo, e análise qualitativa dos resultados, seguindo o percurso metodológico proposto por Santos *et al*. (2021).

O primeiro passo consistiu no levantamento do referencial teórico por meio da consulta a publicações científicas, trabalhos acadêmicos e livros especializados em pavimentação, obtidos principalmente via Google Acadêmico, garantindo embasamento técnico à pesquisa. Nessa etapa, foram analisadas as principais manifestações patológicas em pavimentos flexíveis, com foco nos mecanismos de ocorrência, características, critérios de classificação e fatores relacionados ao tráfego, clima e falhas executivas.

Na segunda etapa, realizada no período de 03 a 08 de junho de 2025, foram conduzidas inspeções técnicas *in loco* em três vias previamente selecionadas. Essas vias foram escolhidas por apresentarem caráter estratégico e intenso tráfego de veículos pesados, o que favorece o surgimento de manifestações patológicas e a necessidade de manutenção constante. Nessa etapa, buscou-se identificar os tipos de manifestações patológicas mais recorrentes no local, a saber: trincas, afundamentos e escorregamento do revestimento asfáltico.

O procedimento envolveu o registro fotográfico sistemático e a medição das trincas, por meio do uso de trena, permitindo uma avaliação detalhada das condições superficiais. Aliado a isso, foram utilizadas as diretrizes do DNIT 005/2003 – TER e o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), para a classificação técnica das manifestações patológicas e suporte normativo, e a proposição de soluções. Ressalta-se que a análise foi predominantemente visual e descritiva, sem a realização de ensaios laboratoriais devido à indisponibilidade de equipamentos.

Por fim, a terceira etapa consistiu na análise e interpretação dos dados coletados em campo, com base no referencial teórico previamente estabelecido, a fim de classificar as anomalias

identificadas, avaliar seus sintomas visuais e investigar suas prováveis causas, considerando aspectos estruturais, funcionais e ambientais que influenciam o desempenho do pavimento.

Figura 7 - Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: Dos autores, 2025

3.1 Caracterização da área estudada

A primeira via analisada, apresentada na Figura 8, corresponde a um trecho de aproximadamente 2,33 km da Estrada do 53º BIS, classificada como via coletora, compreendendo o segmento entre a entrada do bairro Campo Belo e a Rua das Flores. A seleção desse trecho justifica-se por sua relevância na distribuição do tráfego local, uma vez que concentra acessos residenciais e logísticos, influenciando diretamente o volume e a composição do fluxo veicular.

O bairro Campo Belo possui caráter predominantemente residencial e tem como principal acesso a Estrada do 53º BIS. Nas proximidades do trecho analisado, observam-se pontos de movimentação de mercadorias, fábricas de pré-moldados e portos localizados à margem direita da via, fatores que contribuem para o aumento do tráfego de veículos pesados. Além disso, a Rua das Flores atua como importante eixo de escoamento, intensificando as solicitações estruturais sobre o pavimento no segmento estudado.

Figura 8 - Localização do primeiro segmento de estudo



Fonte: Google Earth

A segunda via estudada corresponde à Rua Francisco Macedo, localizada no bairro Vale Piracanã. A referida via, além de proporcionar o acesso ao bairro, originado a partir da implantação de empreendimentos oriundos do programa Minha Casa Minha Vida, caracteriza-se pela presença de diversos estabelecimentos institucionais e comunitários, dentre os quais se destacam unidades escolares e religiosas.

Esta atende também o acesso à olarias instaladas na área, que geram intensas movimentação de cargas. Essa função de ligação entre áreas residenciais e produtivas aumenta as solicitações

estruturais sobre o pavimento, influenciando seu desempenho. O trecho objeto de estudo, apresentado na Figura 9, possui extensão aproximada de 388 metros, abrangendo as proximidades da Escola Municipal de Ensino Fundamental São Francisco das Chagas.

Figura 9 - Localização do segundo segmento de estudo



Fonte: Google Earth

A terceira via estudada foi a Avenida Marechal Rondon, localizada no bairro Aeroporto Velho. O trecho analisado possui um comprimento de 570 m e sua localização é ilustrada na Figura 10. Esse trecho caracteriza-se pela existência de duas unidades hospitalares, o Hospital Regional Público do Tapajós e Hospital Municipal de Itaituba, além de duas instituições de ensino, o Escola Estadual de Ensino Médio Benedito Corrêa de Souza e Escola Municipal de Ensino Fundamental Joaquim Caetano Corrêa, além de alguns pontos comerciais.

Figura 10 - Localização do terceiro segmento do estudo



Fonte: Google Earth

A presença de importantes polos geradores de tráfego gera um fluxo intenso que resulta em trânsito de veículos de diversas naturezas, como veículos de emergência, veículos leves e pesados, além de um fluxo considerável de pedestres.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Manifestações Patológicas Identificadas

Ao realizar o levantamento das manifestações patológicas nas três vias estudadas, foram identificados e registrados os principais defeitos encontrados, com destaque para trincas, afundamentos e escorregamentos. Os dados coletados permitiram avaliar as condições estruturais de cada via, evidenciando a gravidade, e a extensão das manifestações patológicas que comprometem o desempenho funcional do pavimento.

4.1.1 Estrada do 53° BIS

A Estrada do 53º BIS, localizada em Itaituba-PA, foi pavimentada em 2016 e, já em 2018, apresentou deterioração precoce em alguns trechos. Segundo a Prefeitura Municipal de Itaituba (2018), esse problema está associado a falhas no dimensionamento do pavimento, especialmente pela subestimação das solicitações de tráfego, destacando-se a intensa circulação de caminhões-tanque e carretas não prevista em projeto. Desde então, a via apresenta manifestações patológicas recorrentes, com predominância de trincas e afundamentos, conforme verificado em inspeção de campo.

A Figura 11 ilustra dois tipos de afundamento plástico identificados na via. Na Figura 11(a), observa-se o afundamento em trilha de roda, localizado em frente a instalações portuárias, onde o tráfego intenso de veículos pesados favorece deformações permanentes devido aos esforços repetitivos.

Já na Figura 11(b), verifica-se um afundamento plástico localizado, próximo a um bueiro sobre o Rio Bom Jardim, possivelmente relacionado a recalques diferenciais, excesso de umidade ou deficiência de drenagem, fatores que comprometem a capacidade de suporte do pavimento.

Figura 11 – (a) Afundamento plástico da trilha de roda (b) Afundamento plástico local



(a) (b)

Fonte: Dos autores, 2025

As trincas constituíram a manifestação patológica mais recorrente na Estrada do 53º BIS, apresentando diferentes configurações e padrões de distribuição ao longo da via. A Figura 12 evidencia trincas longitudinais longas, com extensão superior a 100 cm, medidas durante a inspeção em campo.

Essas aberturas superficiais estão associadas à fadiga, à perda de coesão e a falhas estruturais, sendo intensificadas pelo tráfego de veículos pesados e por possíveis deficiências na qualidade do revestimento. Além disso, a localização em área predominantemente residencial, caracterizada pelo lançamento de águas servidas sobre o pavimento e pela ausência de sistema de drenagem, contribui para a manutenção da umidade nas camadas estruturais, favorecendo o surgimento e a propagação dessas manifestações patológicas.

Figura 12 - Trinca longitudinal longa



Fonte: Dos autores, 2025

A Figura 13 apresenta a presença de trincas interligadas do tipo “couro de jacaré” na Estrada do 53º BIS, o dano pode estar atribuído a recalques diferenciais, fadiga por cargas pesadas, envelhecimento do asfalto e possíveis falhas de dimensionamento ou execução.

Figura 13 - Trinca couro de jacaré



Fonte: Dos autores, 2025

4.1.2 Rua Francisco Macedo

Nesta via, foi identificada a manifestação patológica do tipo afundamento por consolidação. Trata-se de uma via recentemente construída que, apesar do curto período de utilização, já apresenta essa anomalia. Destaca-se que, ainda antes da conclusão da obra, o trecho em questão apresentou problemas construtivos, o que exigiu a realização de intervenção corretiva.

O afundamento por consolidação pode estar associado à compactação insuficiente das camadas ou à consolidação diferencial do subleito. O tráfego de caminhões na via coletora intensifica as deformações, especialmente em uma estrutura recente com indícios de falhas construtivas. A Figura 14 apresenta a ocorrência identificada na trilha de roda durante a inspeção na Rua Francisco Macedo.

Figura 14 - Afundamento de consolidação nas trilhas de roda



Fonte: Dos autores, 2025

4.1.3 Avenida Marechal Rondon

No trecho analisado, foi identificada a ocorrência de escorregamento do revestimento, manifestação patológica associada à elevada demanda de tráfego da via. Esse defeito é mais comum em locais submetidos a esforços horizontais intensos, como interseções e áreas com interferências físicas, onde acelerações e frenagens frequentes comprometem a aderência entre as camadas do pavimento, favorecendo o deslocamento do revestimento.

A Figura 15 apresenta dois pontos da Avenida Marechal Rondon com essa manifestação. Na Figura 15(a), observa-se o defeito nas proximidades da rotatória de acesso à Rodovia Transamazônica, área de intensa movimentação veicular. Já na Figura 15(b), o escorregamento ocorre em frente a duas unidades de ensino, próximo a uma faixa elevada, trecho sujeito a constantes frenagens e retomadas de velocidade, condições que contribuem para o surgimento do defeito.

Figura 15 – (a) Escorregamento próximo a rotatória (b) escorregamento próximo a faixa elevada



(a) (b)

Fontes: Dos autores, 2025

4.2 Propostas de intervenção

A partir das manifestações patológicas identificadas durante a inspeção *in loco*, com destaque para trincas, afundamentos e escorregamentos, propõe-se a sistematização das medidas corretivas recomendadas para cada tipo de anomalia observada. As intervenções foram adaptadas com base nas orientações de Bernucci et al. (2022) e DNIT (2006), considerando as causas prováveis, os mecanismos de deterioração envolvidos e as técnicas de reparo mais adequadas às condições verificadas em campo.

Para melhor organização e compreensão, as propostas de intervenção são apresentadas no Quadro 1, estabelecendo a relação entre cada manifestação identificada, seus possíveis fatores causadores e as soluções técnicas indicadas. Essa sistematização tem como objetivo subsidiar a análise técnica, auxiliar na definição das estratégias de manutenção e recuperação do pavimento e servir como instrumento orientador para futuras ações de conservação da via.

Quadro 1 – Proposta de medidas corretivas

Patologia	Prováveis causas	Medidas corretivas
Trinca isolada longitudinal	Esforços repetitivos de cargas; Variações de temperatura; Retração do material; falhas estruturais nas camadas do pavimento.	Selagem das trincas, com limpeza e abertura, secagem e aplicação de selante asfáltico para vedação completa.
Trinca couro de jacaré	Fadiga; repetição de cargas elevadas; envelhecimento do ligante asfáltico; variações térmicas; falhas executivas.	Remoção da área comprometida; fresagem e recapeamento localizado. Como há indício estrutural (fadiga), a simples selagem não é suficiente. A fresagem permite reaproveitamento do material e melhor desempenho estrutural.
Afundamento plástico	Deformação permanente das camadas; umidade excessiva; deformação por fluência excessivo de ligante na mistura asfáltica; inadequação do revestimento.	Fresagem da área deformada seguida de recapeamento. Caso o problema esteja restrito à camada superficial, essa é a solução mais viável economicamente. Em pontos críticos (como próximo a porto), pode exigir reconstrução localizada da base.
Afundamento de consolidação	Compactação insuficiente; Consolidação diferencial do subleito; solicitações repetidas de cargas elevadas.	Remoção da área afetada e reconstrução da base e sub-base, seguida de recapeamento. Como a causa está nas camadas inferiores, apenas fresar não resolve. É necessária recomposição estrutural localizada.

Escorregamento	Esforços tangenciais; ligação inadequada entre o revestimento e a camada subjacente; espessura reduzida do revestimento; compactação deficiente; fluência plástica devido a altas temperaturas.	Fresagem da camada escorregada e recapeamento com recomposição da aderência entre camadas. Se identificado problema estrutural mais profundo, recomenda-se remoção total da camada afetada antes do recapeamento.

Fonte: Adaptado de Bernucci et al. (2022) e DNIT (2006).

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar as principais manifestações patológicas identificadas em pavimentos no município de Itaituba-PA, com foco em trincas, afundamentos e escorregamentos, buscando identificar suas causas e propor medidas corretivas adequadas. A pesquisa adotou abordagem qualitativa, fundamentada em estudo de caso, sendo desenvolvida por meio de levantamento bibliográfico e inspeção técnica *in loco* em três vias urbanas. A avaliação realizada foi exclusivamente visual, baseada em observação direta e registro fotográfico, devido à ausência de equipamentos e ensaios tecnológicos específicos para análise estrutural mais aprofundada.

A partir da análise realizada, verificou-se que a Estrada do 53º BIS apresentou predominância de trincas, além de afundamentos, associados principalmente ao tráfego intenso de veículos pesados e possíveis falhas executivas, que podem contribuir para o acúmulo de umidade nas camadas do pavimento e aceleram o processo de deterioração. Para essa via, as medidas corretivas mais indicadas envolvem fresagem, recomposição estrutural localizada e recapeamento.

Na Rua Francisco Macedo, identificou-se afundamento por consolidação, mesmo sendo uma via recentemente executada, indicando possíveis deficiências na compactação das camadas ou consolidação diferencial do subleito. Nesse caso, a solução mais adequada consiste na remoção do trecho comprometido e reconstrução da base e sub-base, seguida de novo revestimento.

Já na Avenida Marechal Rondon, constatou-se a ocorrência de escorregamento do revestimento em áreas de intenso esforço horizontal, como proximidades de rotatórias e faixas elevadas. A intervenção recomendada consiste na fresagem da camada afetada, correção da aderência entre as camadas e posterior recapeamento.

De modo geral, o estudo evidencia que as manifestações patológicas observadas resultam da interação entre fatores estruturais, construtivos, ambientais e operacionais. A identificação precoce dessas anomalias e a adoção de medidas corretivas adequadas são fundamentais para evitar a evolução dos danos e reduzir custos de reabilitação.

Destaca-se que a definição das intervenções deve considerar critérios técnicos como o volume de tráfego, a tipologia dos veículos atuantes e o grau de severidade das patologias, fatores determinantes para a escolha entre soluções superficiais ou estruturais. Além disso, recomenda-se a implementação de um plano de manutenção periódica, com inspeções regulares e ações preventivas, visando ampliar a vida útil do pavimento.

Ressalta-se que a ausência de ensaios tecnológicos, como CBR, análise granulométrica e avaliação estrutural por deflexão, limita a precisão das recomendações, sendo indicada sua aplicação em

estudos futuros. Por fim, enfatiza-se a importância da análise de custo-benefício na tomada de decisão, considerando a viabilidade econômica das intervenções e a durabilidade das soluções adotadas.

REFERÊNCIAS

BALDUINO, Y. C. de S. S.; COSMO, R. de P. Principais patologias na pavimentação rodoviária: Identificação das causas e reparos. **Esfera Acadêmica Tecnologia** (ISSN 2526-4141), vol. 7, nº 2, ano 2022.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2022. 750 p. ISBN 978-85-69658-02-3.

CNT (Org). (2017). **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?.** Disponível em: https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-divulga-31 estudo-porque-pavimento-rodovias-brasil-nao-duram-resultados. Acesso em: 20 de maio de 2025.

CNT (Org). (2018). **Conheça os 13 principais defeitos do pavimento das rodovias**. Disponível em: https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/conheca-principais-defeitos-pavimento. Acesso em: 12 de maio de 2025.

CNT (Org). (2021). **Aumenta em 50% o número de pontos críticos na malha rodoviária brasileira em um ano.** Disponível em: https://cnt.org.br/agencia-cnt/aumenta-numero-de-pontos-criticos-na-malha-rodoviaria-brasileira-em-um-ano. Aceso em: 12 de maio de 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Terminologia**. DNIT 005/2003– TER. Rio de Janeiro: DNIT, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de restauração de pavimentos asfálticos.** 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

LEHMERT, M. B. de S. **Análise comparativa de soluções entre os métodos brasileiros e o mepdg para reabilitação de pavimentos flexíveis – estudo de caso**. 2020. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2020.

LIMA, L. dos S.; SILVA, M C. Revestimento flexível do tipo concreto betuminoso usinado a quente: uma revisão sistemática. **Revista Multidebates**, Palmas, v. 7, n. 3, p. 282–298, ago. 2023. Disponível em: https://revista.faculdadeitop.edu.br/index.php/revista/article/view/588. Acesso em: 7 maio 2025.

MARQUES, G. L. de O. **Notas de aula: Pavimentação**, 2006**.** Faculdade de engenharia - Universidade Federal de Juiz de Fora. Disponível em:https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/17735/material/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf. Acesso em: 21 de maio de 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAITUBA. **Prefeito anuncia recuperação da Estrada Lázaro Cerqueira (53º BIS).** Itaituba, PA, 28 ago. 2018. Disponível em: https://www.itaituba.pa.gov.br/noticia/print-noticia/228/prefeito-anuncia-recuperacao-da-estrada-lazaro-cerqueira-53-bis/. Acesso em: 25 fev. 2026.

SALOMÃO, P. E. A.; FRÓES, L. M. M. Pavimentação rodoviária: uma análise de qual melhor tipo de pavimentação para as rodovias brasileiras. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, [S. l.], v. 2, n. 1, 2023. Disponível em: https://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/791. Acesso em: 7 maio. 2025.

SANTOS, P. H. M. dos. S; LIMA, P. da. S.; OLIVEIRA, C. E. M. de.; SOUSA, B. M. NUNES; J. M. M; NASCIMENTO, A. P. da. S; GOMES, M. C. L; SILVA, A. D. A. da.; NETO, J. de O. P. Análise das manifestações patológicas na pavimentação asfáltica da avenida Santos Dumont no município de Codó-MA. 2023. In: **Open science research X**. Editora científica digital, 2023. p. 1436-1448. Disponível em: https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/230111850. Acesso em: 20 fev. 2026.

SANTOS, Y. R. P. dos; BARBOSA, C. E. B; LIMA, J. J. de; MENESES, M. M. M; NASCIMENTO, P. D. L. Classificação e diagnóstico de conservação de uma estrada asfaltada na cidade de Caruaru, Pernambuco, Brasil. 2021. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, *[S. l.],* v. 10, n. 17, p. e212101724257, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i17.24257. Disponível em: https://rsdjournal.org/rsd/article/view/24257. Acesso em: 20 fev. 2026.

SINDETRANS – Sindicato das Empresas de Transportes de Cargas de Ribeirão Preto e Região. **Conheça os 13 principais defeitos do pavimento das rodovias**. Ribeirão Preto, SP, 09 fev. 2018. Disponível em: https://www.sindetransrp.com/noticias/conheca-os-13-principais-defeitos-do-pavimento-das/. Acesso em: 20 de maio 2025.

CAPÍTULO 93 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/6h14fv41
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/r9n6j066

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS – ESTUDO DE CASO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO

Ellen Taís da Silva Pinheiro[1], Kercia Marcely Cardoso Dias[2]; Lucielly Olavo Costa[3*]; Ana Laura Batista Alvarenga[4]; Jedson Henryque Corrêa Abrantes[5] e Matheus Viana de Souza[6]
*Autor de contato: Luciellyolavo9@gmail.com

[1] Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba-PA, Brasil
[2] Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba-PA, Brasil
[3] Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba-PA, Brasil
[4] Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba-PA, Brasil
[5] Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Grupo Amazônico de Pesquisa em Engenharia Civil – GAPEC, Itaituba-PA, Brasil
[6] Mestre em engenharia civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Grupo Amazônico de Pesquisa em Engenharia Civil – GAPEC, Itaituba-PA, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre manifestações patológicas identificadas em uma estrutura metálica localizada na guarita de uma instituição de ensino em Itaituba-PA. A pesquisa teve como objetivo analisar degradações visíveis, compreender suas prováveis causas e discutir seus impactos na durabilidade e no desempenho estrutural. A metodologia adotada baseou-se em inspeção visual *in loco*, registro fotográfico e levantamento dos elementos estruturais, com posterior classificação das manifestações observadas. Foram identificadas corrosão localizada, falhas na soldagem e na pintura, presença de manchas e ação de agentes bióticos. Os resultados indicam que a falta de manutenção preventiva e as condições climáticas da região aceleram a degradação, tornando essenciais inspeções periódicas e intervenções corretivas.
Palavras-chave: manifestações patológicas; corrosão; estruturas metálicas.

ABSTRACT

This paper presents a case study on pathological manifestations identified in a metallic structure located in the guardhouse of an educational institution in Itaituba-PA. The research aimed to analyze visible degradations, understand their probable causes and discuss their impacts on durability and structural performance. The methodology adopted was based on visual inspection *in loco*, photographic record and survey of structural elements, with subsequent classification of the observed manifestations. Localized corrosion, welding and painting failures, the presence of stains and the action of biotic agents were identified. The results indicate that the lack of preventive maintenance and the climatic conditions of the region accelerate degradation, making periodic inspections and corrective interventions essential.
Keywords: pathological manifestations; corrosion; metal structures.

1. INTRODUÇÃO

O aço foi utilizado nas primeiras pontes da antiguidade e, ao longo do tempo, passou a integrar grandes construções modernas, como edifícios comerciais, residenciais, galpões e lojas (Azevedo Neto et al., 2022).

A partir das vivencias e histórico desse tipo de estrutura no ramo da construção criam-se expectativas para o futuro. O aço pode trazer uma série de vantagens e expectativas para o melhoramento construtivo (Silva Filho; Drumond; Jucá, 2022).

Entretanto, no Brasil, o uso de sistemas construtivos convencionais ainda está muito inserido na cultura da construção civil, métodos como por exemplo o concreto armado. Estruturas de aço por sua vez, apesar de terem bastante vantagens como sua rapidez e versatilidade no momento de sua montagem, mostram maior eficiência do que as obras convencionais, porém ainda apresentam alguns desafios construtivos (Júnior; Guterres, 2023).

Apesar da ampla aplicação das estruturas metálicas em pontes, passarelas e edificações comerciais e residenciais, é necessário compreender seu comportamento em serviço, considerando fatores como intempéries, carregamentos, uso e manutenção. Além disso, a análise das manifestações patológicas e dos vícios construtivos é fundamental para promover avanços na utilização desse sistema construtivo (Neto; Pinheiro,2022).

Dessa forma, todo o uso de estruturas metálicas precisa estar totalmente associado as exigências normativas e do dimensionamento adequado em sua fase de projeto. Assim sendo, a segurança em estruturas metálicas deve ser ligada não apenas ao projeto, mas também a sua durabilidade, a inspeção e a gestão da manutenção para não apresentarem degradação (Oliveira; Silva; Morais, 2025). As edificações brasileiras apresentam diversas manifestações patológicas associadas, principalmente, à ausência de manutenção preventiva e à insuficiência de recursos destinados à conservação (Sales, 2024).

O ramo da engenharia civil que estuda essa degradação em estruturas é a patologia. Para manter a vida útil de uma construção com manifestações patológicas é preciso entender os sintomas, mecanismos, as origens e as principais causas deste problema para poder traçar um diagnóstico (Neto; Pinheiro,2022).

Em edificações executadas com estruturas metálicas, as manifestações patológicas apresentam diferentes formas de ocorrência, porém há predominância dos processos de corrosão (Júnior; Guterres, 2023). Além disso, podem ocorrer patologias como deformações excessivas, flambagem e fratura. A corrosão, por sua vez, pode se manifestar como corrosão localizada, em pontos específicos da estrutura, e corrosão generalizada que ocorre de maneira uniforme na superfície do material (Pravia; Betinelli, 2016).

De acordo com Bessa (2019) O conhecimento das causas dos diagnósticos e das soluções viáveis para os problemas relacionados as estruturas metálicas são fundamentais para garantir a qualidade e a durabilidade das edificações. Além disso, esses conhecimentos são indispensáveis a todos os profissionais envolvidos no processo construtivo, desde arquitetos e engenheiros até colaboradores diretos, contribuindo para a elevação do nível técnico e para a difusão do uso das estruturas metálicas na sociedade.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo de analisar e diagnosticar algumas manifestações patológicas em estruturas metálicas na guarita de uma instituição de ensino na cidade de Itaituba - PA. Além de contribuir para a compreensão de seus mecanismos de ocorrência e estratégias de intervenção, de modo a promover maior segurança, durabilidade e eficiência no uso desse sistema construtivo.

2. METODOLOGIA

A metodologia empregada na presente visita técnica consiste na identificação das manifestações patológicas existentes na estrutura, por meio da inspeção visual *in loco* e documentação fotográfica. Para a coleta de dados, foram utilizados instrumentos simples de medição, como trena e régua para medir a edificação e para confirmar as medidas nas plantas existentes, além de um celular para o registro fotográfico das anomalias observadas, conforme a metodologia empregada por Sales (2024). Com base nas observações obtidas, procedeu-se à classificação das manifestações patológicas, à análise dos sintomas visuais e prováveis causas.

2.1 Caracterização da área estudada

O estudo foi realizado em uma guarita de uma instituição de ensino superior, localizada no município de Itaituba-PA. De acordo com a classificação de Köppen, a região do campus está inserida na tipologia Af (clima equatorial úmido), caracterizada por temperaturas médias elevadas ao longo do ano, elevada umidade e altos índices pluviométricos sem seca definida (Alvares et al. 2013). Analisar as condições climáticas é fundamental, uma vez que elas podem exercer influência sobre a durabilidade dos materiais, considerar o clima local permite compreender se as manifestações foram causadas exclusivamente por falhas construtivas ou das condições ambientais da região.

A área estudada corresponde à guarita localizada na entrada principal do prédio, composta por cobertura em estrutura metálica com telhas em formato curvo, sustentada por pilares distribuídos ao longo da entrada, a edificação da guarita é pequena, em alvenaria com acabamento em cor amarelada e destinada ao controle de acesso. Por estar exposta às variações climáticas, como chuva, umidade e incidência solar, a estrutura está sujeita a fatores que influenciam seu desempenho e durabilidade. O mapeamento concentrou-se na avaliação das características construtivas e das manifestações patológicas visíveis.

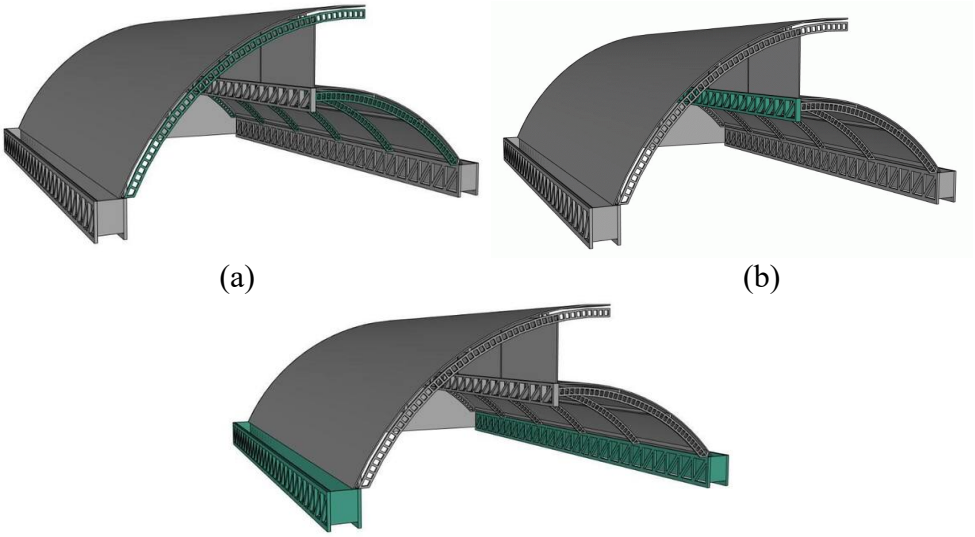
2.2 Inspeção preliminar

A vistoria foi realizada no dia 12 de novembro de 2025, em uma estrutura com 15 anos de idade e área total de 71,25m². durante a inspeção, foram analisados os seguintes elementos: treliça em arco, cobertura e viga treliçada. O levantamento das manifestações patológicas foi conduzido por meio de uma vistoria detalhada dos elementos aparentes da estrutura, inicialmente foi feita um reconhecimento geral da estrutura, seguido de um levantamento das medidas para serem compatibilizadas com as plantas cedidas pela instituição, foi realizado uma análise dos elementos construtivos (cobertura, paredes, piso e esquadrias) compostos por estruturas metálicas, identificação das manifestações nesses elementos, registro fotográfico e, por fim, a organização e interpretação dos dados coletados. Não foi utilizado uma ficha de inspeção padrão pois os dados e observações foram anotados durante a visita e posteriormente organizados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizada uma visita *in loco* na guarita da instituição onde foram verificados os elementos da cobertura e quais manifestações patológicas eram visíveis. Com base no levantamento, as manifestações patológicas foram catalogadas de acordo com três elementos principais: treliça em arco, viga treliçada e calha. Na treliça em arco e na viga treliçada, observou-se a presença de corrosão localizada e agentes bióticos. Já na calha, foram identificadas as manifestações mais críticas, incluindo corrosão localizada mais acentuada, falhas na soldagem, manchas e falhas no sistema de pintura, sendo ela o componente mais comprometido entre os analisados. Na figura 2 apresenta-se a representação desses elementos permitindo a visualização clara de cada componente analisado no mapeamento.

Figura 2 – (a) Treliça em arco – (b) Viga treliçada – (C) Calha



(a) (b)

(c)

Fonte: Dos autores, 2026

O quadro a seguir apresenta as principais manifestações patológicas identificadas nos elementos, acompanhadas das prováveis causas de cada ocorrência. Essa organização permite uma compreensão mais precisa da origem dos problemas observados, de forma semelhante ao apresentado por Sacchi e Souza (2016).

Quadro 1 – Manifestações patológicas e as principais causas

Manifestações Patológicas	Principais Causas	Referência bibliográfica
Corrosão localizada	A deficiência na drenagem pluvial e de detalhes construtivos podem ser os principais motivos, pois causam o favorecimento do acúmulo de umidade e a penetração de agentes agressivos.	Texeira, 2017.
Falhas na soldagem	Falta de fusão penetração na soldagem que levou a corrosão localizada na ligação.	Sacchi; Souza,2016.
Falhas na pintura	Causadas por contaminações da superfície, falhas no preparo ou aplicação da tinta, problemas com solventes e incompatibilidade entre demãos ou produtos utilizados.	Sacchi; Souza,2016.

Agentes bióticos	Causadas pela ação de seres vivos, essas manifestações patológicas provocam manchas na pintura, degradação da película protetora, retenção de umidade do processo de corrosão.	Ferreira *et al.*, 2024.
Manchas	Causadas pela presença de umidade, infiltrações, corrosão inicial e sujeira acumulada mudando a estética, perda de aderência da tinta, indício de corrosão iniciando.	Jorge *et al.*, 2024.

Fonte: Dos autores, 2026

3.1 Corrosão localizada

A corrosão é uma das formas mais comuns de deterioração em estruturas metálicas, sendo amplamente reconhecida como um fenômeno patológico recorrente. Esse processo ocorre quando o aço entra em contato com uma umidade ou gases agressivos, tornando indispensáveis medidas de proteção para garantir maior durabilidade ao material (Sacchi; Souza,2016).

A corrosão do aço é geralmente classificada em dois tipos principais: uniforme e localizada, correspondendo, respectivamente, a um ataque generalizado ou restrito a determinadas regiões da superfície metálica (Perneta *et al*., 2010).

Segundo Gasparoni e Rodrigues (2020), nos pontos onde ocorre a corrosão localizada formam-se depósitos de produtos corrosivos que se acumulam ao longo do tempo, alterando significativamente a morfologia da superfície do material. Sob esses depósitos, o metal é progressivamente consumido por oxidação, originando escavações e irregularidades que comprometem as propriedades mecânicas e estruturais da peça. Nas imagens a seguir estão os registros fotográficos dos elementos estudados treliça, viga e calha com corrosão localizada.

Figura 3 – corrosão localizada nos elementos treliça, viga e arco



Fonte: Dos autores, 2026

Conforme Sacchi e Souza (2016), uma das principais técnicas de combate à corrosão é a aplicação de sistemas de pintura anticorrosiva, que consiste na utilização de revestimentos protetores sobre a superfície metálica. Esse método é amplamente empregado e considerado uma das formas mais utilizadas para a proteção do aço

3.2 Falhas soldagem

A soldagem é um processo amplamente utilizado nas atividades industriais que envolvem metais, sendo aplicada em diferentes tipos de materiais, como aço inoxidável, aço carbono e alumínio. Para garantir a qualidade de execução, esse procedimento deve ser realizado por profissionais devidamente treinados e capacitados, aptos a atuar em diferentes posições e condições de trabalho (Texeira, 2017).

Nas etapas iniciais de concepção e fabricação de estruturas metálicas, é comum que ocorram falhas relacionadas ao dimensionamento inadequado dos elementos, à ausência de sistemas de contraventamento e enrijecimento, à deficiência na ancoragem entre os componentes estruturais, à incompatibilidade entre a estrutura metálica e a fundação, bem como a problemas decorrentes de soldas e ligações parafusadas mal projetadas ou executadas (Meseguer,1991).

A figura 4 mostra falhas na soldagem na calha, um dos elementos da construção estudada.

Figura 4 – Falha na soldagem



Fonte: Dos autores, 2026

Para evitar ou corrigir defeitos relacionados à soldagem, é fundamental investir em materiais de qualidade, mão de obra qualificada e especializada, além da doação de práticas de manutenção preventiva e corretiva (Texeira, 2017).

3.3 Manchas e falhas na pintura

A pintura industrial constitui uma das principais técnicas de proteção anticorrosiva aplicadas ao aço, tendo como finalidade a utilização de revestimentos capazes de reduzir os efeitos da corrosão. Trata-se de um dos métodos mais empregados para a proteção de estruturas metálicas, sendo que os defeitos nesse sistema de revestimento são, em sua maioria, identificados por meio de inspeção visual (Sacchi; Souza, 2016).

Figura 5 – Manchas e falhas na pintura



Fonte: Dos autores, 2026

De forma geral, as falhas nas pinturas podem ser prevenidas e corrigidas por meio da adequada preparação da superfície, remoção das áreas contaminadas ou defeituosas, lixamento quando necessário e reaplicação do sistema de pintura conforme as especificações técnicas. Além disso, é fundamental controlar as condições de aplicação bem como utilizar materiais de qualidade e seguir as recomendações do fabricante, garantindo maior aderência, acabamento e durabilidade do revestimento (Nunes; Lobo,2014).

3.4 Agentes bióticos

Além das manifestações já mencionadas, também foram identificadas aquelas associadas à ação de agentes bióticos nos elementos estruturais metálicos da guarita, especialmente na treliça em arco e na viga treliçada. Observou-se a presença de matéria orgânica e indícios de ninhos, fatores que contribuem para a retenção de umidade sobre a estrutura metálica, fatores que podem ser observados nas figuras a seguir.

Figura 6 – Agentes bióticos



Fonte: Dos autores, 2026

A ocorrência dessa manifestação está diretamente relacionada à ausência de manutenção e limpeza periódica, evidenciando a necessidade de inspeções regulares para remoção de detritos orgânicos e prevenção do avanço da corrosão.

3.5 Medidas corretivas

Por fim, a identificação das manifestações patológicas observadas na edificação permite compreender os mecanismos de degradação atuantes e suas respectivas causas, fornecendo base para possíveis medidas corretivas. A análise técnica das anomalias verificadas, associada à literatura especializada, possibilita estabelecer soluções compatíveis com cada tipo de dano, visando à recuperação da durabilidade dos elementos metálicos. O quadro a seguir apresenta a sistematização das manifestações identificadas e as respectivas soluções técnicas recomendadas.

Quadro 2 – Manifestações patológicas e as soluções propostas

Manifestações Patológicas	Principais Causas
Corrosão localizada	Aplicação de pintura anticorrosiva para proteção do aço.
Falhas na soldagem	Investir em materiais de qualidade, mão de obra qualificada e especializada, além de práticas de manutenção preventiva e corretiva.
Manchas e falhas na pintura	Adequada preparação da superfície, remoção das áreas contaminadas ou defeituosas, lixamento quando necessário e reaplicação do sistema de pintura conforme as especificações técnicas.

Quadro 2 – Manifestações patológicas e as soluções propostas (continuação)

Manifestações Patológicas	Principais Causas
Agentes bióticos	Causadas pela ação de seres vivos, essas manifestações patológicas provocam manchas na pintura, degradação da película protetora, retenção de umidade do processo de corrosão.
Manchas	Manutenção e limpeza periódica, inspeções regulares para remoção de detritos orgânicos e prevenção do avanço da corrosão.

Fonte: Dos autores, 2025

4. CONCLUSÃO

O levantamento realizado na cobertura em estrutura metálica a guarita da instituição permitiu a observação pratica das condições de conservação do material e a identificação das principais manifestações patológicas que comprometem o desempenho e a durabilidade da edificação. Vale ressaltar que a análise da estrutura teve caráter exclusivamente qualitativo e superficial, não sendo realizados ensaios ou avaliações estruturais detalhadas. Portanto, não é possível afirmar de maneira conclusiva sobre a integridade estrutural, sendo necessária uma investigação mais aprofundada para tal verificação.

Considerando que a estrutura possui aproximadamente 15 anos de uso, destaca-se que a possível ausência de manutenção preventiva contribui para o estado de conservação observado. Além disso, as condições climáticas características da região de Itaituba-PA, marcadas por alta umidade e intensas precipitações, contribuem significativamente para a aceleração dos processos de deterioração, especialmente da corrosão.

A corrosão localizada foi a patologia de maior incidência, concentrando-se principalmente nas ligações, juntas e na calha, indicando possíveis falhas no sistema de proteção superficial, seja por aplicação inadequada da pintura anticorrosiva ou pela ausência de reaplicações ao longo do tempo. Além disso, foram identificadas falhas na soldagem, manchas, falhas no revestimento e a presença

de agentes bióticos, fatores que, associados à retenção de umidade, potencializam o avanço a degradação do aço.

Os resultados reforçam a importância da correta execução dos detalhes construtivos, do controle tecnológico na fase de fabricação e montagem, bem como da implementação de rotinas de inspeção e manutenção preventiva. A adoção dessas medidas é essencial para garantir maior durabilidade, segurança estrutural e desempenho adequado das estruturas metálicas ao longo de sua vida util. Dessa forma, conclui-se que o diagnóstico precoce das manifestações patológicas e a aplicação de intervenções corretivas adequadas são fundamentais para evitar danos progressivos, reduzir custos de reparo e assegurar a integridade das edificações executadas em aço.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, Gerd. **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref. Acesso em: 23 de fev. 2026.

AZEVEDO NETO, J. H. M. DE; OLIVEIRA, R. S.; SANTOS, E. F.; FROTA, M. H. A.; SALMÃO, P. E. A. **Patologias em estruturas metálicas**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v. 10, 2022. Disponível em: Visão de PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS. Acesso em: 12 de fev. de 2026.

BESSA, A. R. DE O. **Manifestações patológicas em estrutura metálica: um estudo de caso da corrosão, causas e consequências em pilares treliçados na cidade de Água Nova-RN.** 2019. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2019. Disponível em: content. Acesso em: 13 de fev. de 2026.

CORREIA, M. J.; PERNETA, H. M. B.; RODRIGUES, M. P.; PEREIRA, E. V.; SALTA, M. **Sistemas de protecção contra corrosão das estruturas metálicas.** In: CONGRESSO DE CONSTRUÇÃO METÁLICA E MISTA, 8., 2011, Guimarães, Portugal. Anais [...]. Guimarães: CMM, 2011. Disponível em: Tempalte para comunicacoes. Acesso em: 17 de fev. de 2026.

FAGUNDES, Andrei Santana. **Estudo da implementação de inspeção de soldagem em estruturas de suportação para tubulações industriais.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022. Disponível em: inspecaosoldagemestruturas.pdf. Acesso em: 12 de fev. de 2026.

FERREIRA, R. J.; RIBAS, R. A. DE J.; SOUZA, F. T. DE. **Análise de manifestações patológicas em edificações escolares da rede pública federal.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES (CBPAT), 2024, Fortaleza, CE. Anais [...] Fortaleza: CBPAT, 2024. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.13171029. Disponível em: https://anais.cbpat.org.br/cbpat/article/view/10/10. Acesso em: 22 de fev. 2026.

GASPARONI, A. G.; RODRIGUES, L. M. **Corrosão de estruturas metálicas em águas e sua proteção.** Belém-PA: RFB Editora, 2020. Disponível em: https://depositaserver.ibict.br/server/api/core/bitstreams/9b22a8e3-b204-462f-895e-

cb1543306ca5/content. Acesso em: 18 de fev. 2026.

JORGE, A. P.; ALVIM, A. F.; HARAGUCHI, M. T. **Estudo de caso de patologia na engenharia civil.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2024. Disponível em: TCC2 - Patologia - 28.06.24.docx. Acesso em: 13 de fev. de 2026.

LEAL JÚNIOR, J. A.; GUTERRES, P. R. C. **Estudo das patologias em estruturas metálicas.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2023. Disponível em: EstudoPatologiasEstrutura.pdf. Acesso em: 13 de fev. de 2026.

MESEGUER, A. G. **Controle e garantia da qualidade na construção.** São Paulo, Sinduscon-SP/Projeto/PW, 1991.

NETO, A. B.; PINHEIRO, É. C. N. M. **Manifestações patológicas em residência unifamiliar – estudo de caso.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 8, n. 5, p. 38753–38767, 2022.

NUNES, L. P.; LOBO, A. C. O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva.**5 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

OLIVEIRA, S. R. DE; SILVA, G. J. G. DA; MORAIS, W. A. DE. **Confiabilidade de estruturas metálicas: integração entre projeto, patologias e diagnóstico estrutural.** Unisanta Science and Technology, v. 14, n. 1, p. 46–58, 2025. Disponível em: Vista do Confiabilidade de Estruturas Metálicas: Integração entre Projeto, Patologias e Diagnóstico Estrutural. Acesso em: 12 de fev. de 2026.

PRAVIA, Z. M. C.; BETINELLI, E. A. **Falhas em estruturas metálicas:** Conceitos e estudos de caso. Curso de Engenharia Civil da FEAR–UPF, 2016.

PERNETA, H. M. B.; CORREIA, M. J.; BAPTISTA, A. M.; SALTA, M. **Reparação de estruturas metálicas.** Comunicação apresentada no Encontro Nacional Reabilitar 2010 – Conservação e Reabilitação de Estruturas, Lisboa, Portugal, 2010. LNEC-Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2010. Disponível em: Reabilitar2010_Reparacao Estruturas Metalicas_Comunicacao_HP_MJC_AMB_MS. Acesso em: 17 de fev. de 2026.

SACCHI, C. C.; SOUZA, A. S. C. DE. **Manifestações patológicas e controle de qualidade na montagem e fabricação de estruturas metálicas.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 13, n. 1, 2016. Disponível em: Vista do MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E CONTROLE DE QUALIDADE NA MONTAGEM E FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS. Acesso em: 14 de fev. de 2026.

SALES, J. **As manifestações patológicas na Catedral de Nossa Senhora da Conceição em Sobral no Estado do Ceará no Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES (CBPAT), 2024, Fortaleza, CE. Anais [...] Fortaleza: CBPAT, 2024. Disponível em: https://anais.cbpat.org.br/cbpat/article/view/20/20. Acesso em: 23 de fev. 2026.

SILVA FILHO, A. J.; DRUMOND, M. F. R.; JUCÁ, T. **Avaliação de danos em estruturas metálicas: estudo de caso.** 2022. Trabalho acadêmico – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2022. Disponível em: Avaliação de danos em estruturas metálicas.pdf. Acesso

em: 12 de fev. de 2026.

TEIXEIRA, R. P. **Patologias de estruturas metálicas.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade Finom de Patos de Minas, Patos de Minas, 2017. Disponível em: 20181017161048.pdf. Acesso em: 12 de fev. de 2026.

CAPÍTULO 94 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/d4bbf580
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/rybpp343

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA PONTE NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA-PA

Lucielly Olavo da Costa[1]*; Ellen Taís da Silva Pinheiro[2]; Kercia Marcely Cardoso Dias[3]; Ana Laura Batista Alvarenga[4]; Wesley Aguiar Pinto[5] e Matheus Viana de Souza[6]
*Autor de contato: luciellyolavo9@gmail.com

[1] Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba, Brasil
[2] Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba, Brasil
[3] Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba, Brasil
[4] Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Itaituba, Brasil
[5] Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, Brasil
[6] Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Grupo Amazônico de Pesquisa em Engenharia Civil – GAPEC, Itaituba, Brasil

RESUMO

O presente artigo apresenta um estudo de caso focado na identificação e análise de manifestações patológicas em uma ponte de madeira, localizada no interior do Estado do Pará. A metodologia consistiu em uma abordagem qualitativa e descritiva, fundamentada em inspeção visual *in loco* e documentação fotográfica. Os resultados revelaram um estado de deterioração precoce em uma estrutura de apenas seis anos (aproximadamente), causados por agentes abióticos e bióticos. O ambiente úmido do local, potencializado pela vegetação densa e pela deficiência de proteção construtiva e tratamentos impermeabilizantes, acelerou a degradação da madeira. Por fim, o estudo propõe medidas corretivas, ressaltando a urgência de um plano de manutenção preventiva para garantir a segurança funcional da ponte.
Palavras-chave: patologia das construções; estruturas de madeira; manutenção preventiva; manifestações patológicas.

ABSTRACT

This article presents a case study focused on the identification and analysis of pathological manifestations in a wooden bridge located in the countryside of the State of Pará, Brazil. The methodology consisted of a qualitative and descriptive approach, based on in situ visual inspection and photographic documentation. Results revealed an early state of deterioration in a structure only approximately six years old, caused by abiotic and biotic agents. The local humid environment, enhanced by dense vegetation and the lack of constructive protection and waterproofing treatments, accelerated the degradation of the wood. Finally, the study proposes corrective measures, highlighting the urgency of a preventive maintenance plan to ensure the bridge's functional safety.

Keywords: pathology of structures; wooden structures; preventive maintenance; pathological manifestations.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, com o desenvolvimento da sociedade, as pontes têm sido fundamentais para logística de mercadorias e interligação entre regiões, superando obstáculos naturais. E a madeira foi uma das principais matérias primas para sua construção por ser uma opção tradicional devido às suas propriedades estruturais e estéticas. No entanto, para isso seria necessário compreender a viabilidade e implementação de manutenções constantes (Pardinho e Moreira, 2024).

De acordo com Sousa e Silva Junior (2020), a redução de vida útil das pontes é diretamente afetada pela ausência de manutenção preventiva ou corretiva, que pode ocasionar falhas precoces ou o colapso estrutural antes do tempo determinado. As pontes encontram-se constantemente expostas a intempéries e agentes agressivos, logo, a durabilidade das pontes depende do tratamento dos materiais utilizados e do método construtivo. Em obras fora das especificações, utiliza-se da inspeção visual como ferramenta para diagnosticar manifestações patológicas, identificar causas e viabilizar a recuperação estrutural (Pompeu e Rosa, 2023).

Figueroa (2012) afirma que "a umidade, massa específica, tipos de água presente na madeira, contração e inchamento, são os principais fatores que afetam principalmente as propriedades físicas da madeira". Portanto a deterioração de pontes de madeira provém de agentes bióticos, como fungos e insetos, e abióticos, que abrangem fatores físicos e químicos. Essas manifestações patológicas comprometem a integridade da estrutura e resultam em uma redução significativa de sua capacidade mecânica (Campos, *et al.* 2021).

Embora frequentemente associada a uma vida útil reduzida, a madeira demonstra alta durabilidade quando aliada a tratamentos químicos preservativos. Com a aplicação correta dessas tecnologias e técnicas, as estruturas de madeira podem superar 50 anos, demandando baixa manutenção e exigências mínimas de conservação (Calil Junior, *et al*., 2006).

Manifestações patológicas em infraestruturas comprometem diretamente a segurança e a vida útil das edificações. No contexto das pontes de madeira, a interação entre as propriedades do material e o meio externo os tornam vulneráveis a danos decorrentes da exposição ambiental e da degradação do material que podem comprometer sua integridade funcional (Pardinho e Moreira, 2024).

Diante desse cenário, o presente artigo detalha uma inspeção visual em uma ponte de madeira localizada em uma cidade no interior do Estado do Pará. A estrutura atua como uma importante via de integração entre dois bairros, cuja importância é a contribuição para a melhoria da logística e escoamento da produção na região rural, além de facilitar o acesso de comunidades a serviços essenciais. Este trabalho apresenta a análise das manifestações patológicas e suas possíveis causas a fim de classificar os danos, compreender seus mecanismos de ocorrência e identificar os agentes específicos que colaboram para a degradação da estrutura.

2. METODOLOGIA

O presente estudo adota uma abordagem qualitativa e descritiva, utilizando o método de estudo de caso para identificar e analisar as causas das manifestações patológicas, a fim de observar o estado

de conservação do objeto de estudo e definir medidas de correção através de pesquisas bibliográficas. A metodologia fundamenta-se na inspeção visual *in loco* e na documentação fotográfica para o levantamento de dados e diagnóstico das manifestações patológicas.

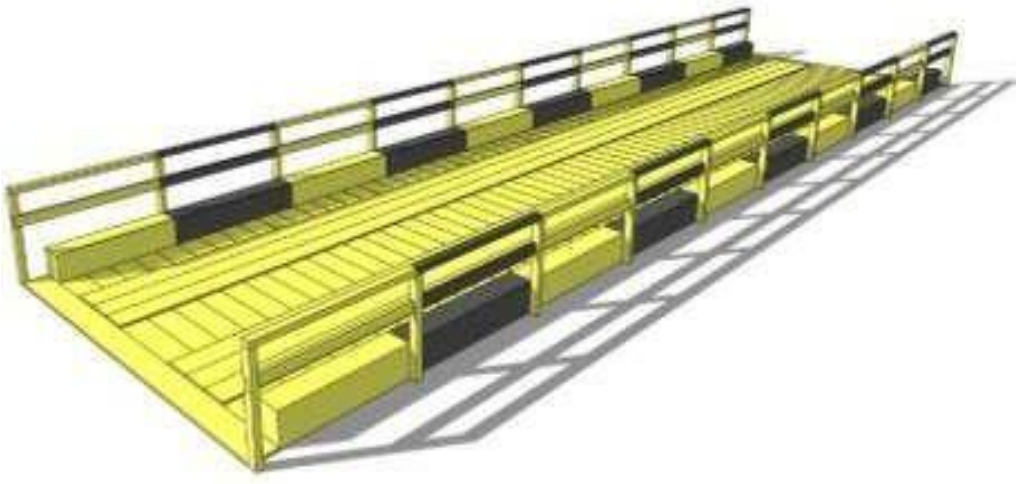
A etapa de levantamento de campo utilizou instrumentação básica de mensuração e dispositivos fotográficos para o registro documental, permitindo a quantificação e o detalhamento visual dos danos observados. Com base nos dados obtidos, procedeu-se à classificação das manifestações e à análise dos sintomas visuais e de suas prováveis causas, seguindo uma metodologia análoga à empregada por Vogel e Rosas (2024), na análise técnica de pontes em madeiras na região Norte do Mato Grosso.

2.1. Caracterização da área estudada

A estrutura objeto deste estudo consiste em uma ponte de madeira de lei, conectando diferentes setores da cidade e servindo como rota para o fluxo de veículos e pedestres. Embora a ponte conte com uma passarela lateral destinada à circulação de pessoas, o presente estudo delimita-se exclusivamente à análise técnica da plataforma de tráfego de veículos, não contemplando a avaliação das irregularidades na área de passeio.

A vistoria técnica foi realizada no dia 25 de setembro de 2025 na ponte de madeira cuja estrutura apresenta aproximadamente seis anos de idade e dimensões de 4,70 m por 35,75 m como representado na Figura 1. O levantamento das manifestações patológicas foi conduzido por meio de uma vistoria detalhada dos elementos aparentes da estrutura, acompanhada do registro das observações em croquis específicos. As informações coletadas foram posteriormente analisadas com base nas anotações dos defeitos identificados, com ênfase naqueles que apresentam potencial para comprometer a durabilidade da estrutura.

Figura 1 – Projeto da estrutura.



Fonte: Autoria própria, 2026.

Conforme observado na Figura 2, a estrutura encontra-se inserida em um ambiente com condições críticas para a conservação da madeira. O Igarapé local apresenta-se em um estado de leito seco, porém com presença de vegetação densa e solo com alta retenção de umidade abaixo da ponte e em contato com os pilares.

Figura 2 – Condições ambientais e entorno da ponte de madeira.



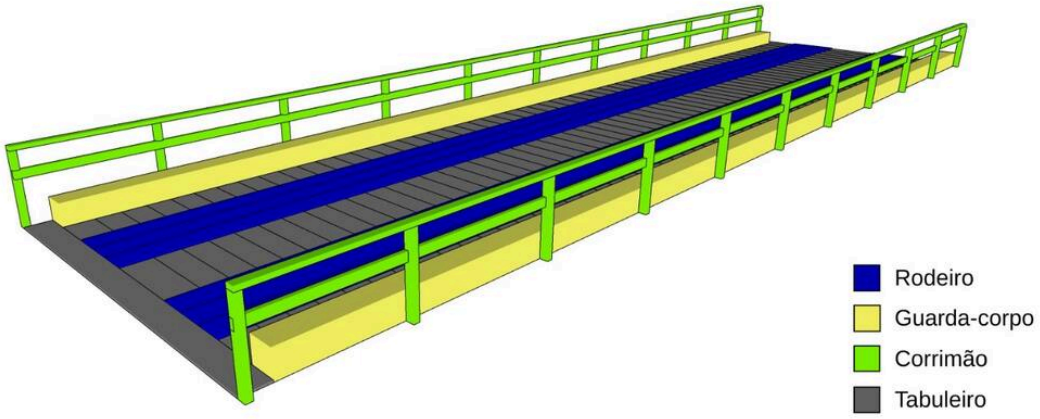
Fonte: Autoria própria, 2026.

Essa proximidade com o solo úmido e a vegetação abundante cria um ambiente favorável à proliferação de agentes bióticos, facilitando o surgimento de fungos e insetos. Além disso, a imagem evidencia a exposição da estrutura às intempéries, sem a presença de coberturas ou sistemas de proteção construtiva, o que resulta no contato direto com a radiação solar e águas pluviais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As manifestações patológicas catalogadas a seguir foram identificadas durante a visita técnica in loco, as irregularidades e degradações encontradas foram descritas de acordo com sua incidência nos elementos estruturais e funcionais da ponte: corrimão, guarda-corpo, rodeiro e tabuleiro. A Figura 3 apresenta o detalhamento e localização dos elementos da ponte analisada, mostrando-os em destaque.

Figura 3 – Elementos estruturais da ponte.



Fonte: Autoria própria, 2026

3.1. Manifestações patológicas identificadas

3.1.1. Agentes bióticos e ataque por insetos

Dentre os principais agentes bióticos responsáveis por manifestações patológicas em peças de madeira, destacam-se organismos como bactérias, fungos, perfuradores marinhos e diversos insetos, como os cupins, brocas, além de formigas e abelhas carpinteiras (Brito, 2014). Durante a inspeção realizada, foram identificados diversos indícios de presença de agentes bióticos, especialmente cupins, no interior da estrutura. Conforme Brito (2014), o teor de umidade da madeira não apenas possibilita o ataque de agentes bióticos, como também potencializa a degradação por fatores abióticos, acelerando o processo de deterioração do sistema estrutural.

Figura 4 – Manifestações patológicas por agentes bióticos (cupins subterrâneos). a) degradação em corrimão; b) ataque estrutural em guarda-corpo.



(a) (b)

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Figura 4a, os túneis de barro se estendem desde a base até a parte inferior do corrimão e a Figura 4b evidencia um fendilhamento profundo e a exposição de galerias internas na madeira; tais manifestações patológicas são características determinantes do ataque por térmitas (cupins) subterrâneos. Acredita-se que o contato direto da estrutura com o solo, ou proximidade com a vegetação, serve como fonte de alimentação e abrigo. Além disso, as condições ambientais de alta umidade no local e a ponte sem um tratamento preservativo cria o habitat ideal para a proliferação desses insetos.

3.1.2. Fungos e manchas

A degradação da madeira por organismos xilófagos, como os fungos, está intrinsecamente ligada ao teor de umidade do material. Embora a água não seja diretamente responsável pela degradação da madeira, sua presença constante e em níveis elevados é o que permite a proliferação de agentes biológicos que consomem a estrutura (Brito, 2014). Nesse contexto, a inspeção *in loco* confirmou a presença ativa de fungos nos elementos de madeira da ponte. Essa manifestação patológica decorre da umidade nas fibras do material, potencializado pela exposição direta às intempéries e falta de tratamento impermeabilizante (verniz ou selador), o que mantém a madeira constantemente vulnerável aos ataques de agentes bióticos.

De acordo com Brito (2014), os fungos que acometem as estruturas de madeira, são classificados em três tipos principais – emboloradores, manchadores e apodrecedores – que se distinguem essencialmente pelas consequências estruturais e estéticas que impõem à madeira.

Figura 5 – fungos apodrecedores presentes no guarda-corpo da ponte.



Fonte: Autoria própria, 2026.

Conforme registrado na Figura 5, a estrutura da ponte apresenta um estágio avançado de degradação biótica. A visível desintegração das fibras da madeira confirma a ação de fungos apodrecedores, e observa-se que a falta de proteção superficial e o contato com agentes externos favoreceram a colonização fúngica, resultando em uma perda significativa da seção, o que compromete a segurança estrutural do guarda-corpo.

Figura 6 – fungos apodrecedores no corrimão(a) e guarda-corpo(b).



(a) (b)

Fonte: Autoria própria, 2026.

A presença de corpos de frutificação (cogumelos) na face inferior do corrimão (Figura 6a) caracteriza a ação de agentes bióticos de natureza fúngica. Já na Figura 6b a peça afetada revela uma podridão parda, caracterizada pela presença de fendilhamentos transversais e longitudinais no material. Tais condições, conforme fundamentado em Brito (2014), indicam a degradação da celulose, resultando em uma perda crítica da integridade estrutural e da capacidade de carga dos elementos da ponte.

Conforme aponta Brito (2014), a atividade metabólica dos fungos manchadores é sustentada pela presença de umidade elevada, e essa ocorrência é um indicativo direto de que a madeira apresenta um teor de umidade crítico, geralmente acima de 25%.

Figura 7 – Fungos manchadores e emboloradores. a) corrimão; b)guarda-corpo.



(a) (b)

Fonte: Autoria própria, 2026.

Os sintomas visuais observados nos elementos da Figura 7 caracterizam-se pelo escurecimento notável da superfície, indicando a presença de fungos manchadores e emboloradores.As causas prováveis estão diretamente ligadas à exposição contínua à água e fontes de umidade, criando pontos favoráveis à retenção de águas pluviais em pontos de infiltração que é ideal para a proliferação desses agentes bióticos.

3.1.3. Corrosão nos conectores metálicos

Conforme explica Calil Junior *et al.* (2006), a corrosão metálica é um fator de deterioração em pontes frequentemente subestimadas, ocorrendo quando a umidade da madeira reage com elementos de fixação em ferro. O autor afirma que esse processo libera íons que degradam as paredes celulares e transformam o conector em uma célula eletrolítica, que resulta no escurecimento do material e na perda severa de sua resistência mecânica na área de contato.

Figura 8 – Corrosão nos conectores metálicos presentes no corrimão.



(a) (b)

Fonte: Autoria própria, 2026.

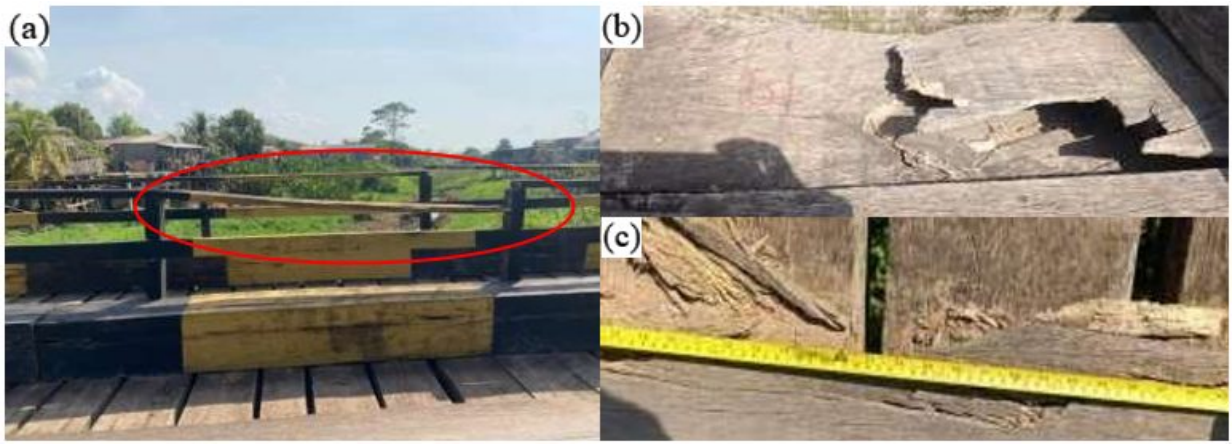
Na Figura 8, observa-se a oxidação avançada de pregos evidenciando ao redor desses conectores na madeira uma coloração mais escura. Nota-se uma corrosão acentuada dos elementos metálicos de ligação, acompanhada de fendilhamento radial na madeira ao redor dos conectores. A oxidação decorre da interação entre a umidade retida e o oxigênio na estrutura celular da madeira, o que

desencadeia reações químicas entre os constituintes do metal e da célula vegetal. Esse processo libera íons que provocam a hidrólise da celulose, resultando no amolecimento e escurecimento da madeira na zona de contato.

3.1.4. Agentes abióticos e deterioração da estrutura

De acordo com Calil Junior *et al.* (2006), os agentes abióticos – que englobam fatores físicos, mecânicos, químicos e climáticos – possuem um potencial destrutivo que vai além do dano direto à peça. Ao causarem fissuras e quebras, esses agentes danificam a camada de tratamento preservativo, deixando o interior da madeira, antes protegido, vulnerável à colonização por microrganismos e insetos xilófagos.

Figura 9 - Sinais de agentes abióticos.



Fonte: Autoria própria, 2026.

A análise dos elementos estruturais da ponte revela um estágio avançado de deterioração, evidenciado por sintomas visuais, identificados na Figura 9, de fraturas no corrimão (a), tabuleiro (b) e degradações visíveis no rodeiro (c). A superfície da madeira caracteriza-se por estar esfarelando ou se desfazendo ao toque, o que indica a perda severa da coesão celular e da integridade física do material.

As possíveis causas para esse cenário de colapso envolvem a deterioração combinada pela ação prolongada da água e de agentes bióticos, potencializada por falhas na utilização e danos mecânicos por impactos provenientes de sobrecarga. A exposição contínua à umidade em conjunto de fatores abióticos e bióticos facilitam a deterioração de pontes de madeira, expondo o cerne não tratado a um ciclo contínuo de degradação física e biológica, comprometendo a integridade da estrutura.

3.2 Proposta de reparo

A partir da inspeção *in loco* e análise das manifestações patológicas identificadas, propõe-se a organização das medidas corretivas indicadas para cada anomalia constatada nos elementos da ponte. As sugestões aqui inseridas foram fundamentadas nas diretrizes técnicas de Brito (2014) e Calil Junior *et al.* (2006), com base na apresentação das causas prováveis, levando em consideração os mecanismos de degradação biótica e abiótica atuantes e as técnicas de tratamento e reforço mais adequadas à preservação da madeira exposta.

Para garantir a clareza e a viabilidade da execução, este artigo estabelece, no Quadro 1, a correlação direta entre cada patologia identificada, seus agentes causadores e as respectivas soluções técnicas recomendadas. Esta sistematização visa não apenas orientar a recuperação imediata da integridade estrutural e segurança da ponte, mas também servir como instrumento norteador para o estabelecimento de um plano de manutenção preventiva, essencial para mitigar a reincidência de ataques de fungos, insetos e processos corrosivos.

Quadro 1 - Medidas corretivas para as manifestações patológicas encontradas.

Manifestações patológicas	Prováveis causas	Medidas corretivas
Agentes Bióticos e Ataque por Insetos (Cupins)	● Presença contínua de umidade; ● Contato direto com o solo; ● Falta de tratamento preservativo adequado nas peças.	● Tratamento do solo e das peças com cupinicidas; ● Substituição de peças com galerias internas que comprometam a seção resistente.
Fungos e Manchas (Emboloradores e Manchadores)	● Teor de umidade na madeira acima de 25%; ● Exposição direta a intempéries sem drenagem eficiente.	● Limpeza mecânica das manchas; ● Aplicação de fungicidas; e posterior selagem com vernizes ou pinturas hidrorrepelentes para reduzir a absorção de água.
Corrosão nos Conectores Metálicos	● Reação eletrolítica entre o metal (ferro/aço) e a umidade da madeira; ● Oxidação por exposição ao oxigênio.	● Troca dos pregos/parafusos oxidados por elementos de fixação galvanizados ou metais não ferrosos; ● Tratamento dos furos com preservativos antes da nova fixação. ● Troca da peça comprometida ●
Agentes Abióticos e Deterioração	● Sobrecargas excedidas; ● Impactos mecânicos; ● Fadiga do material e exposição a ciclos de molhagem/secagem.	● Substituição dos elementos estruturais fraturados (especialmente guarda-corpo e tabuleiros); ● Instalação de reforços metálicos ou substituição integral das peças degradadas por madeira de maior densidade e durabilidade.

Fonte: Autoria própria, 2026.

5. CONCLUSÃO

A inspeção técnica realizada na ponte permitiu identificar um quadro de deterioração precoce. Embora a estrutura possua aproximadamente seis anos de idade, as manifestações patológicas observadas, como a presença de fungos apodrecedores (podridão parda), infestação por térmitas subterrâneas e corrosão galvânica, indicam que a estrutura já se encontra com a sua integridade física e segurança funcional severamente comprometidas.

Acredita-se que a severidade das falhas encontradas é justificada pelas condições ambientais do local onde a ponte se encontra. A presença de vegetação densa (mato) e o solo fértil do leito seco do Igarapé criam um ambiente de alta umidade constante ao redor da estrutura. Como aponta Brito (2014), o teor de umidade acima de 25% é a fonte que viabiliza a colonização por fungos manchadores e apodrecedores. Somado a isso, o contato direto ou proximidade com o solo facilitou a ascensão de térmitas subterrâneas no interior da madeira e através dos túneis de barro, resultando no comprometimento da seção resistente dos elementos de segurança.

Por fim, conclui-se que a ausência de manutenção preventiva e de um tratamento preservativo inicial eficaz potencializou a degradação da madeira, uma vez que a ponte necessita de intervenções imediatas de reabilitação, conforme as medidas corretivas propostas neste estudo. A negligência quanto à limpeza da vegetação circundante e à deficiência de cobertura ou tratamento impermeabilizante eficiente foram os fatores determinantes para que agentes bióticos e abióticos reduzissem a vida útil da estrutura em um curto espaço de tempo. Recomenda-se a substituição urgente dos elementos fraturados e a implementação de um cronograma rigoroso de manutenção para evitar o colapso total da plataforma de tráfego.

REFERÊNCIAS

BRITO, L. D. **Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação**. 2014. 252 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CALIL JUNIOR, C. *et al*. **Manual de projeto e construção de pontes de madeira**. São Carlos: Suprema, 2006. 252 p. ISBN 85-98156-19-1.

CAMPOS, C. S. M. *et al*. Estudo sobre patologias em pontes. **Brazilian Journal of Development,**Curitiba, v. 7, n. 12, p. 120720–120734, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n12-713. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/42031. Acesso em: 21 fev. 2026.

FIGUEROA, M. J. M. **Coeficientes de modificação das propriedades mecânicas da madeira devidos à temperatura**. 2012. 259 f. Tese (Doutoramento em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

NEUTO, F. **Prefeitura Municipal De Itaituba. Ponte de madeira de lei irá interligar aos bairros São José e Jardim das Araras**. Itaituba, 18 jun. 2020. Disponível em: https://www.itaituba.pa.gov.br/noticia/640/ponte-de-madeira-de-lei-ira- interligar-aos-bairros-sao-jose-e-jardim-das-araras/.

PARDINHO, A. F.; MOREIRA, L. M. Análise de patologias em ponte de madeira do município de Aquidauana/MS. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, *[S. l.]*, v. 10, n. 1, p. 41–51, 2024. Disponível em: https://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/51935. Acesso em: 21 fev. 2026.

POMPEU, L. R.; ROSA, C. C. Identificação de patologias em pontes de madeira: estudo de caso na cidade de Breu Branco - Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 14., 2023, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. São Paulo: ABECE/ABPE, 2023. p. 1-10.

SOUSA, F. L.; SILVA JUNIOR, F. V.. Análise das manifestações patológicas da ponte sobre o Rio Taquari em Araguatins/TO. **EngineeringSciences**, v. 8, n. 1, p. 45-56, 2020. ISSN 2318-3055. Disponível em: http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.001.0006. Acesso em: 21 fev. 2026.

VOGEL, B. S.; ROSAS, L. R. B. Análise técnica de pontes em madeira na região norte de Mato Grosso. **Revista de Arquitetura & Engenharia de Mato Grosso (RAEMT)**, v. 1, jun. 2024. ISSN: 2965-0895.

CAPÍTULO 95 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/j2bvd671
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/e4xmp010

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO EM PISOS INDUSTRIAIS

Higor Martins do Valle[1]*, Patrícia Schmid Calvão[2] e Renata Monte[3];
*Autor de contato: higormvalle@usp.com (marcado com um asterisco entre os autores)

[1] Mestrando do Programa de Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
[2] Professora doutora do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
[3] Professora doutora do Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

RESUMO

Este artigo analisa as manifestações patológicas em revestimentos de alto desempenho (RAD) aplicados em pisos industriais, sistemas amplamente utilizados para proteção do concreto e melhoria das condições operacionais em ambientes produtivos. Apesar da evolução tecnológica das resinas poliméricas, esses revestimentos ainda apresentam falhas recorrentes que comprometem a durabilidade, desempenho e a segurança operacional. O estudo identifica, por meio de revisão bibliográfica e protocolos de inspeção baseados na NBR 14050, as principais manifestações patológicas classificadas como falha de aderência, perda de integridade superficial e/ou estrutural e estético-químicas. A investigação sugere que a maioria das ocorrências, como empolamento e delaminação, pode ter origem na interface com o substrato de concreto, indicando possíveis deficiências na preparação da base e a negligência das condições de aplicação. Conclui-se que a mitigação dessas falhas exige um rigoroso controle de execução, bem como adequada especificação de manutenção e eventual recuperação para assegurar a vida útil e o desempenho esperado desses sistemas.
Palavras-chave: revestimentos de alto desempenho; manifestações patológicas; pisos industriais; resinas poliméricas.

ABSTRACT

This paper analyzes the pathological manifestations in high-performance coatings (RAD), applied to industrial floors, systems widely used for concrete protection and the improvement of operational conditions in production environments. Despite the technological advancements in polymeric resins, these coating still exhibit recurring failures that compromise durability, performance, and operational safety. Through a literature review and inspection protocols based on the NBR 14050, this study identifies the main pathological manifestations, classified as adhesion failure, loss of surface and/or structural integrity, and aesthetic-chemical issues. The investigation suggests that most occurrences, such as blistering and delamination, may originate at the interface with the concrete substrate, indicating possible deficiencies in the surface preparation and the neglect of application conditions. It is concluded that the mitigation of these failures requires rigorous execution control, as well as proper maintenance specifications and eventual repair to ensure the service life and expected performance of these systems.
Keywords: high-performance coatings; pathological manifestations; industrial floors, polymeric resins.

1. INTRODUÇÃO

A indústria brasileira desempenha um papel crucial e estratégico no setor produtivo do país, especialmente em termos de desenvolvimento tecnológico e inovação (SAIANI, VERÍSSIMO, 2019). Para assegurar a eficiência operacional da indústria, um conjunto de fatores essenciais se faz necessário, destacando-se a importância de uma infraestrutura adequada e de manutenções preventivas, de modo a garantir uma produção de qualidade que atenda aos padrões exigidos.

Nesse contexto, os revestimentos de alto desempenho (RAD) emergem como soluções essenciais para proteger os pisos industriais e otimizar a operação fabril. Entre essas demandas, destacam-se a alta resistência mecânica e química, facilidade na assepsia, atributos estéticos e rápida liberação para uso. Para atender a essas necessidades, desenvolveram-se revestimentos à base resinas poliméricas como epóxi, poliuretano, uretano, metilmetacrilato (MMA), entre outras.

Esses revestimentos são compostos por resinas poliméricas que contêm grupos reativos que, após a mistura com seus agentes de cura, sofrem reações de polimerização e reticulação, formando um material sólido com elevada resistência mecânica e química (CANEVAROLO JR., 2024). Dessa forma, essas resinas poliméricas conquistaram o mercado de revestimento de pisos industriais de modo a atender as exigências e demandas industriais e as normas exigidas quanto a operação e utilização dos processos.

No entanto, apesar da forte expansão do setor na década de 90, a ausência de normas e critérios adequados para a aplicação dos revestimentos comprometeu sua reputação (ANAPRE, 2022). Isso se deve ao surgimento de manifestações patológicas em obras de revestimento realizadas com produtos inadequados, aplicação e especificação incorreta do sistema utilizado. Tais ocorrências não apenas comprometem a estética e a funcionalidade do revestimento, mas também podem acarretar prejuízos significativos, impactando a durabilidade e a segurança das superfícies, quanto a operação industrial.

Dentre as principais incidências patológicas percebidas em revestimentos de alto desempenho são desgaste superficial, delaminação, fissuras/trincas, fragmentação, falhas na junta de dilatação, manchas e entre outros fatores. Portanto, para esses revestimentos, é fundamental a especificação correta do material a ser utilizado e sua correta aplicação ao substrato. Este cenário ressalta a importância de aprofundar o conhecimento sobre as manifestações patológicas em RAD, suas origens e as estratégias para preveni-las e corrigi-las.

Este estudo busca identificar e analisar as manifestações patológicas presentes em revestimentos de alto desempenho, evidenciando as principais técnicas executivas e os fatores críticos que as desencadeiam, desde a fase de projeto até a execução e o uso. Ao aprofundar a compreensão sobre essas falhas, este artigo busca oferecer subsídios para a tomada de decisões mais assertivas e o desenvolvimento de revestimentos mais resilientes, minimizando riscos operacionais e financeiros para a indústria nacional.

Diante dessa problemática, a pesquisa justifica-se pela necessidade de integrar o rigor técnico-normativo à realidade prática das obras industriais brasileiras. Para alcançar tal propósito, o presente artigo se organiza de modo a percorrer desde os fundamentos químicos das resinas poliméricas até a proposição de diagnósticos prováveis das manifestações patológicas mais recorrentes, confrontando as prescrições teóricas com os desafios da execução em campo.

2. SISTEMAS DE REVESTIMENTO DE ALTO DESEMPENHO (RAD)

Os sistemas de revestimento de alto desempenho, constituem famílias de produtos compostos de aglutinantes à base de resinas poliméricas, podendo ou não ter agregados naturais e outros aditivos. Esses revestimentos apresentam um alto desempenho físico e químico, resistência à abrasão, impacto, compressão, tração, flexão e aderência ao substrato, em função das bases da resina com os respectivos endurecedores e agregados empregado (ANAPRE, 2022).

Nesse contexto, esses sistemas são aplicados sobre superfícies de concreto com o objetivo de criar uma barreira física e química capaz de suportar solicitações severas que o concreto em seu estado natural, dada a sua porosidade e natureza cimentícia, não suportaria isoladamente. Diferente de pintura convencionais, os RAD são sistemas monolíticos de espessura e métodos de aplicação variável, cuja performance é determinada pela sinergia entre o polímero formador e a qualidade da interface com o substrato.

A literatura técnica e a prática de campo convergem para um fato fundamental de que a maioria das falhas em RAD não ocorrem no corpo do revestimento, mas na sua zona de interface (FIGUEIREDO, 2005). Nesse sentido, a NBR 14050 (ABNT, 1998), mesmo que ainda defasada para as tecnologias de novos produtos e processos de aplicação, estabelece os requisitos para o processamento de revestimentos de alto desempenho, enfatizando que a integridade do sistema é indissociável da preparação do substrato.

Para que ocorra a ancoragem, tanto mecânica quanto química, o concreto deve estar íntegro, limpo e seco e com a rugosidade adequada, obtida preferencialmente por métodos mecânicos como fresagem ou polimento. Fatores como a taxa de transmissão de vapor de umidade do concreto e a temperatura do ponto de orvalho durante a aplicação são variáveis críticas. Assim, ignorar esses parâmetros inviabiliza as propriedades de aderência do polímero, o que pode resultar em manifestações patológicas precoces.

2.1 Matrizes poliméricas e suas propriedades

A escolha correta do sistema de revestimento a ser adotado é o primeiro critério de projeto fundamental para garantir uma vida útil adequada. Para essa escolha, é necessário considerar todos os tipos de uso do revestimento, além do seu ambiente de exposição e contatos com demais produtos químicos. Por isso, as principais soluções adotadas na indústria nacional para o revestimento de pisos industriais incluem as seguintes resinas.

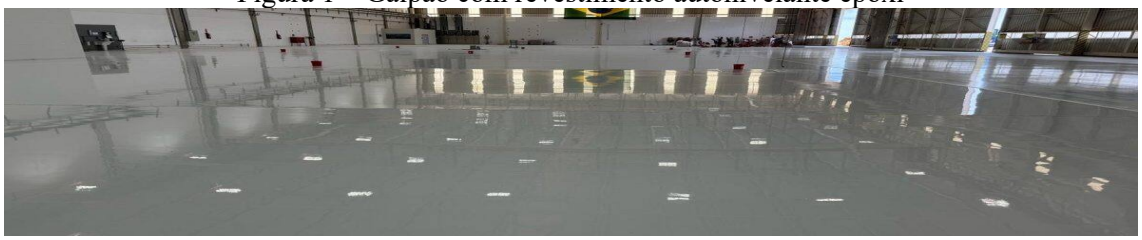
2.1.1 Resinas epoxídicas

O epóxi é um polímero termofixo que, após a cura, forma uma rede tridimensional densa, o que associa a um alto grau de reticulação, garantindo impermeabilidade e resistência a uma vasta gama de agentes químicos. Contudo, as resinas epóxi apresentam baixa resistência aos raios ultravioleta (UV), o que favorece o surgimento de manifestações patológicas à alteração da coloração, notadamente o amarelamento (*yellowing*) e a tendência ao calcinamento (*chalking*) em áreas externas (SUKANTO H. et al., 2021).

As resinas a base de epóxi são amplamente utilizadas devido à sua excelente aderência ao concreto e elevada resistência mecânica, além da sua versatilidade em poder ser aplicada em diferentes

espessuras, podendo variar de 100µm a 6mm. Além disso, possui um alto apelo estético com um alto brilho e textura lisa, conforme Figura 1.

Figura 1 – Galpão com revestimento autonivelante epóxi



Fonte: os autores.

2.1.2 Resinas de poliuretano (PU)

Os revestimentos à base de resina de poliuretano (PU), são revestimentos poliméricos bicomponentes formados da reação química entre polióis e isocianatos (JONES, NICHOLS e PAPPAS, 2017). Essa resina se destaca pela elevada resistência à abrasão e ataques químicos. As versões alifáticas são altamente resistentes ao intemperismo e à radiação ultravioleta, mantendo a estabilidade de cor e brilho, o que os torna ideias para camadas de acabamento em ambientes com variação térmica ou exposição solar.

Figura 2 – Quadra com pintura de poliuretano



Fonte: os autores.

2.1.3 Uretano

O revestimento uretânico é do tipo termofixo de alto desempenho baseado em cadeias poliméricas com ligações uretânicas (JONES, NICHOLS e PAPPAS, 2017). É uma solução de escolha para indústrias de processamento de alimentos e bebidas, pois apresenta uma excepcional resistência a choques térmicos, impactos mecânicos e ataques químicos. A grande maioria dos revestimentos de uretano do mercado apresenta propriedades antibactericidas. Contudo, esse material apresenta baixa estabilidade ultravioleta, apresentando grande mudanças na sua coloração em um curto período de tempo.

Figura 3 – Galpão com revestimento uretano autonivelante

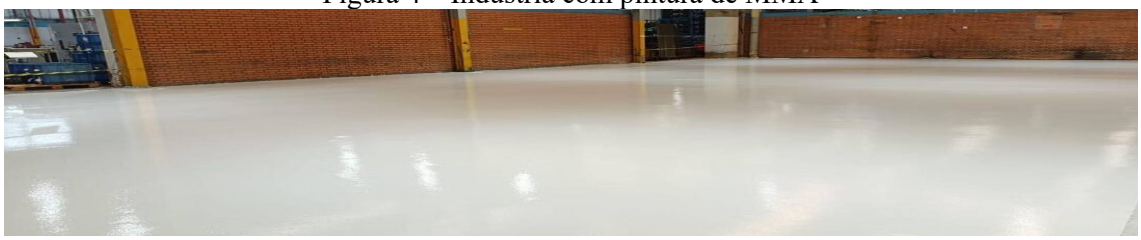


Fonte: os autores.

2.1.4 Metilmetacrilato (MMA)

A resina à base de metilmetacrilato (MMA) caracteriza-se pela cura ultrarrápida, levando em torno de 2 horas para liberação total da área e pela capacidade de aplicação em temperaturas negativas. Nesse sentido, o MMA é ideal para reformas em câmaras frigoríficas ou indústrias que não podem interromper o fluxo produtivo por longos períodos. Contudo, durante sua aplicação e cura, esse revestimento exala odores que podem contaminar alimentos e causar desconforto severo em pessoas em áreas próximas, exigindo um maior cuidado quanto ao seu manuseio e aplicação.

Figura 4 – Indústria com pintura de MMA



Fonte: os autores.

3. CLASSIFICAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RAD

A identificação precisa das manifestações patológicas em sistemas de RAD é o primeiro passo para a elaboração de uma hipótese diagnóstica fundamentada. Essas falhas podem ser classificadas de acordo com sua fenomenologia e o impacto causado na funcionalidade do revestimento. Para fins didáticos e técnicos, as manifestações patológicas são agrupadas em quatro categorias principais: falhas de aderência, integridade superficial, falhas estruturais e alterações estético-químicas.

3.1 Falha de aderência (interface substrato-revestimento)

Para todos os sistemas de revestimento de alto de desempenho, a falha de aderência representa uma das ocorrências mais críticas, pois comprometem a premissa básica do sistema de ser um revestimento monolítico e de alto desempenho. Desse modo, entender quais as origens dessa manifestação patológica são fundamentais para manter a integridade do sistema.

3.1.1 Osmose e empolamento

O empolamento é caracterizado pela formação de bolhas de diversos tamanhos sob a película do revestimento. Nesse caso, se houver contaminantes solúveis ou umidade retida no substrato de concreto, cria-se um gradiente de concentração. Geralmente, está associado à presença de umidade excessiva no substrato ou à pressão osmótica. Quando a umidade migra para a superfície e encontra uma barreira estanque, que é a resina do revestimento, a pressão de vapor força o deslocamento localizado. Essa película se deforma elasticamente, criando o empolamento em si. Nesse sentido, no interior da bolha é comum encontrar um líquido alcalino de alto pH, que degrada quimicamente a interface adesiva, agravando a manifestação patológica (MARRION, 2007).

3.1.2 Delaminação

O desplacamento ou a delaminação é a separação entre as camadas que compõem o sistema ou entre o revestimento e o substrato, sendo o estágio final e mais crítico da falha do revestimento. Diferentemente do empolamento, a delaminação costuma ocorrer em áreas maiores e pode ser

causada por contaminação entre demãos, se ocasionados por falta de preparação adequada do substrato, por exceder o tempo de recobrimento recomendado pelo fabricante (*pot life*) ou aplicar o material com umidade no substrato.

A NBR14050 (ABNT, 1998) define que os critérios mínimos de aderência para RAD tem que ser maior que 1,5 MPa, sendo a falha coesiva no concreto. Desse, ensaios como arrancamento (*Pull-off Strengh*) são utilizados para conferir a adequada aderência do revestimento ao substrato.

3.2 Falha de integridade superficial

3.2.1 Desgaste abrasivo precoce

O desgaste abrasivo excessivo é manifestado quando a camada superficial do RAD perde massa e espessura em uma taxa superior à prevista em projeto, resultando na perda, consequentemente, do brilho, na camada do revestimento e outros fatores estéticos e mecânicos que definem o revestimento. Essa manifestação patológica geralmente indica um erro na escolha da dureza da resina ou subestimativa do tráfego a ser utilizado sobre o RAD, como o tipo do material das rodas de empilhadeiras e paleteiras, arraste de paletes e materiais pesados, entre outros (FIGUEIREDO, 2005). Nesse sentido, a NBR14050 (ABNT, 1998) também estipula os limites de desempenho para a resistência à abrasão.

3.2.2 Calcinação

A calcinação é uma manifestação patológica comum para os RAD que possuem uma grande exposição à radiação ultravioleta, além de sofrer intemperismos constantes como chuva ácida. Nessa manifestação patológica, considerada uma fotodegradação oxidativa da matriz, a superfície torna-se fosca e desprende um pó fino ao toque proveniente dos pigmentos e cargas do revestimento, indicando a degradação da matriz polimérica superficial (MARRION, 2007). Embora seja inicialmente estética, a calcinação reduz a proteção química do RAD, de modo a afetá-lo em seu desempenho estrutural como revestimento.

3.3 Falhas estruturais do sistema

3.3.1 Fissuras refletidas

As fissuras em sua grande parte não têm origem no revestimento em si, mas no substrato. Logo, se o substrato possui alguma fissura, e ela apresenta uma movimentação, a propagação dessa descontinuidade do substrato irá refletir para a camada do revestimento. Nesse sentido, as fissuras refletidas ocorrem quando o revestimento filma uma fissura ou junta de movimentação existente no substrato de concreto que não foi devidamente tratada (ANAPRE, 2022). Como os RAD possuem módulo de elasticidade diferente do concreto, em sua grande parte, a movimentação da base rompe a camada polimérica, evidenciando e destacando a fissura do substrato.

3.4 Falhas estéticas e químicas

3.4.1 Ataque químico

O ataque químico em RAD, mesmo que de produtos que foram previstos para resistir quimicamente, podem acarretar alterações na coloração ou textura causadas pelo contato com essas

substâncias. Assim, o manchamento do revestimento ocorre quando a resistência química da resina é superada pelo agente agressivo, levando à uma degradação estética e/ou estrutural da película. Portanto, essa manifestação patológica ocorre quando o agente agressivo interage com a matriz polimérica ou com os pigmentos, sendo por permeação, degradação ou lixiviação dos pigmentos (SCHWEITZER, 2001).

3.4.2 Variação na tonalidade (amarelamento)

A alteração da coloração, manifestada predominantemente pelo amarelamento, é uma degradação fotoquímica que afeta a estética e a refletância dos revestimentos (CANEVAROLO, 2024). Essa manifestação patológica, embora classificada como uma alteração visual de cor, é comum em ambientes com iluminação intensa ou variações térmicas, onde a estabilidade dos pigmentos e da resina base é comprometida, alterando o padrão visual exigido em projeto.

Em resinas epóxi principalmente, a radiação UV ou o calor excessivo provocam a quebra das ligações químicas. De acordo com Paoli (2008), essa ruptura gera novos grupamentos químicos chamados de cromóforos, que tem a propriedade física de absorver a luz no espectro visível e refletir comprimentos de onda na faixa do amarelo, consolidando o fenômeno técnico do amarelamento (*yellowness*).

4. ANÁLISE DAS ORIGENS E CAUSAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Em grande parte, a origem das manifestações patológicas em RAD raramente está associada a um fator isolado. Destaca-se que essas manifestações patológicas resultam de uma cadeia de falhas que se inicia na concepção do projeto e aplicação e se estende até a fase de operação. Por isso, compreender essas origens é fundamental para estabelecer estratégias de prevenção eficazes.

4.1 Falhas de especificação de projeto

A origem de muitas manifestações patológicas reside na escolha inadequada do sistema de revestimento para a solicitação real. Nesse sentido, alguns requisitos devem ser analisados de modo a determinar o correto revestimento, a fim de evitar especificação como um revestimento epóxi para uma área de higienização com vapor ou um sistema de baixa resistência química para ambientes com alta concentração de ácidos resulta em uma degradação precoce da matriz polimérica.

De acordo com o ANAPRE (2022), avaliar a exposição mecânica, química, térmica, a segurança que o revestimento tem que proporcionar, a estética e textura almejada e a saúde e conforto do revestimento quanto a seu uso, são requerimentos chaves para a consideração na escolha de um revestimento de piso.

4.2 Deficiências na preparação do substrato

Conforme mencionado por (JONES, NICHOLS e PAPPAS, 2017), a maioria das falhas de aderência dos revestimentos têm origem em uma preparação de base negligenciada. Nesse sentido, a falta de polimento ou fresamento adequado e a presença de contaminantes como óleo, graxas ou natas de cimento obstrui os poros do concreto, impedindo a penetração da camada de imprimação e a ancoragem mecânica. Além disso, conforme NBR 14050 (ABNT, 1998), o substrato deve possuir resistência à compressão igual ou superior a 20 MPa e resistência de aderência do substrato

de no mínimo 1,0 MPa, embora a maioria dos fabricantes de resina para RAD solicitem 25 MPa e 1,5 MPa, respectivamente.

Contudo, a aplicação de sistemas estanques sobre substratos com teor de umidade acima de 4% é a causa primária do empolamento. A migração de vapor d'água, ao encontrar a barreira polimérica, gera pressões hidrostáticas que superam a resistência de aderência do sistema. Assim, avaliar o substrato e prepará-lo adequadamente é imprescindível para o correto funcionamento do RAD.

4.3 Erros de execução e condições ambientais

O processo de aplicação de RAD é correlacionado a um laboratório químico, em que a mistura dos componentes para a reação das resinas é sensível às variáveis ambientais. Por isso, uma mistura mecânica insuficiente pode resultar em zonas de subcura do revestimento, além da sua completa ineficácia como produto. Essa problemática pode gerar superfícies pegajosas, baixa resistência mecânica e maior vulnerabilidade a ataques químicos.

Além disso, aplicar o revestimento quando a temperatura do substrato está próxima ou abaixo do ponto de orvalho, causa a condensação de microgotas de água sobre a superfície. Essa umidade interfere na reação química, podendo causar manchas, perda de brilho e falhas de adesão entre camadas.

4.4 Uso inadequado e manutenção negligenciada

Para os RAD, mesmo um sistema perfeitamente executado pode apresentar manifestações patológicas se os limites de uso forem desrespeitados. O uso de produtos de limpeza altamente corrosivos ou a alteração do processo industrial sem a reavaliação do piso podem comprometer a sua integridade.

Nesse sentido, a ausência de reparos em fissuras ou pequenos danos mecânicos permite a percolação de líquidos para o substrato, o que pode iniciar um processo de descolamento generalizado a partir de uma falha pontual.

5. METODOLOGIA

A presente investigação adota uma abordagem qualitativa e descritiva, classificada como uma revisão bibliográfica complementada por análise qualitativa de casos de campo. O objetivo central é correlacionar o referencial normativo e técnico com as evidências empíricas de manifestações patológicas em RAD. Assim, o método de trabalho foi divido em duas fases complementares.

5.1 Fundamentação bibliográfica e referencial técnico

Esta fase consistiu em um levantamento bibliográfico e documental voltado à consolidação da base teórica sobre sistemas poliméricos. Foram consultados manuais técnicos de entidades setoriais (ANAPRE), normas nacionais e internacionais (ABNT, ASTM) e literatura especializada em patologia das construções.

Diferente de uma revisão sistemática de literatura, este levantamento teve caráter narrativo e técnico, focando na identificação e classificação das manifestações patológicas mais recorrentes em ambientes de alta solicitação industrial, como os setores alimentício e automobilístico. A

seleção dos temas abordados priorizou falhas com maior impacto na segurança operacional e durabilidade dos sistemas, conforme observado na prática diagnóstica dos autores.

5.2 Análise qualitativa de casos de campo e diagnóstico

A fase de investigação empírica compreendeu a análise qualitativa de nove casos de revestimentos poliméricos aplicados sobre pisos industriais de concreto com manifestações patológicas observadas. O procedimento de coleta de dados se baseou em inspeção visual direta, com registro fotográfico das manifestações patológicas e análise de diagnóstico com observação das condições aparentes do revestimento e do substrato.

Os dados obtidos em campo foram confrontados com as causas prováveis descritas na literatura técnica, permitindo uma análise comparativa que relaciona as manifestações identificadas a possíveis deficiências nas etapas de projeto, execução ou condições de uso e manutenção.

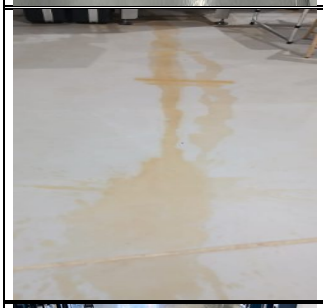
6. RESULTADOS

A aplicação do protocolo de inspeção e a subsequente análise qualitativa indicam que as manifestações patológicas observadas nos RAD não decorrem de fatores isolados, mas de uma conjunção entre as propriedades da matriz polimérica, as condições do substrato e o ambiente de exposição. Verificou-se que, embora cada sistema apresente desempenhos mecânicos e químicos distintos, a origem da maioria das anomalias converge para falhas de interface e para a desconsideração de variáveis de aplicação críticas durante o processo.

O cruzamento dos dados de campo com as diretrizes da NBR 14050 (ABNT, 1998) permitiu a indicação de diagnósticos prováveis que classifica as falhas segundo sua fenomenologia e impacto funcional. Essa correlação entre os sistemas de revestimento, as manifestações mais frequentes e seus respectivos nexos casuais está sintetizada na Tabela 1.

Tabela 1 – Manifestações patológicas observadas nos estudos de caso

Manifestação patológica	Identificação	
	Sistema RAD:	Pintura epóxi
	Tipo de indústria:	Aeroespacial
	Fenômeno patológico:	Falha de aderência
	Manifestação observada:	Formação de bolhas sob o revestimento causando delaminação (osmose)
	Causa provável:	Umidade excessiva no substrato ou pressão osmótica, não identificada na execução do RAD
	Sistema RAD:	Autonivelante epóxi
	Tipo de indústria:	Automobilística
	Fenômeno patológico:	Falha de aderência
	Manifestação observada:	Delaminação por completo do RAD
	Causa provável:	Contaminação superficial e falta de preparação correta do substrato.
	Sistema RAD:	Pintura de poliuretano

	Tipo de indústria:	Automobilística
	Fenômeno patológico:	Integridade superficial
	Manifestação observada:	Desgaste abrasivo precoce do revestimento evidenciando o substrato
	Causa provável:	Subestimativa de tráfego, escolha inadequada do RAD aplicado e espessura considerada
	Sistema RAD:	Epóxi decorativo
	Tipo de indústria:	Farmacêutica
	Fenômeno patológico:	Falha estrutural e estética
	Manifestação observada:	Fosqueamento e amarelamento da superfície com desprendimento de partículas
	Causa provável:	Escolha inadequada do RAD devido a exposição a radiação UV e quebra das ligações químicas
	Sistema RAD:	Pintura de MMA
	Tipo de indústria:	Alimentícia
	Fenômeno patológico:	Falha estrutural
	Manifestação observada:	Fissuração no revestimento comprometendo seu desempenho
	Causa provável	Movimentação do substrato de concreto que não foi tratada previamente
	Sistema RAD:	Uretano autonivelante
	Tipo de indústria:	Alimentícia
	Fenômeno patológico:	Falha estética
	Manifestação observada:	Manchas de diferentes tonalidades
	Causa Provável:	Queda de agentes químicos agressivos ao revestimento
	Sistema RAD:	Uretano autonivelante
	Tipo de indústria:	Alimentícia
	Fenômeno patológico:	Falha estética
	Manifestação observada:	Variação na coloração do revestimento
	Causa provável:	Exposição a radiação UV, acelerando a fotodegradação do revestimento
	Sistema RAD:	Epóxi decorativo
	Tipo de indústria:	Farmacêutica
	Fenômeno patológico:	Falha estética
	Manifestação observada:	Variação na tonalidade e brilho do revestimento
	Causa provável:	Exposição a radiação UV e a utilização de produtos químicos agressivos, acelerando a fotodegradação do revestimento

	Sistema RAD:	Pintura epóxi
	Tipo de indústria:	Cosméticos
	Fenômeno patológico:	Falha de aderência
	Manifestação observada:	Delaminação entre camadas
	Causa provável:	Falta de preparação adequada do substrato e a correta utilização da camada de imprimação

Fonte: os autores.

Os diagnósticos consolidados na Tabela 1 sugerem que a origem principal das manifestações patológicas raramente reside em limitações intrínsecas das resinas poliméricas, mas sim em fragilidades na interface entre o revestimento e a base. A recorrência de falhas como osmose e delaminação expõe a vulnerabilidade dos RAD quando há negligência no controle de umidade ou na preparação mecânica do substrato, desconsiderando as diretrizes da NBR 14050 (ABNT, 1998).

7. ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO E PREVENÇÃO

A correção de manifestações patológicas em RAD exige um diagnóstico preciso para evitar o retrabalho do reparo. As estratégias variam conforme a extensão do dano e a natureza da falha.

7.1 Técnicas de recuperação

De acordo com as práticas recomendadas pelo setor de pisos industriais (ANAPRE, 2022), o reparo localizado é indicado para danos mecânicos pontuais ou impactos. Essa técnica envolve o corte da área afetada, preferencialmente com bordas retas para evitar tensões concentradas, e posteriormente a remoção mecânica do revestimento afetado e aplicação do novo sistema compatível.

No que tange ao tratamento de fissuras, a conduta varia conforme a atividade da falha. Para as fissuras estáveis, utiliza-se a injeção de resinas de baixa viscosidade. No caso de fissuras de movimentação, o revestimento dever ser seccionado e transformado em uma junta de controle selada com mastiques elastoméricos (BOLINA, HELENE, TUTIKIAN, 2019).

Por fim, em casos de falha generalizada de aderência, como na ocorrência de osmose ou contaminação do substrato, a remoção completa do revestimento é necessária devido à perda da capacidade funcional do revestimento (FIGUEIREDO, 2005). Nestas situações, a nova aplicação deve ser precedida por uma barreira de vapor ou sistemas de barreira osmótica, caso a manifestação patológica seja originada por umidade ascendente.

7.2 Diretrizes preventivas

A prevenção é o caminho mais econômico e tecnicamente viável. Desse modo, uma verificação rigorosa quanto ao controle de qualidade do substrato é imprescindível, de modo a verificar sua resistência mecânica e a presença de umidade, além do monitoramento contínuo das condições ambientais durante as misturas. Por fim, o plano de manutenção é fundamental para a garantia da vida útil do revestimento, de modo a estabelecer rotinas de limpeza com produtos que não ataquem quimicamente os revestimentos, além da realização de inspeções periódicas para selar pequenas avarias antes que evoluam.

8. CONCLUSÕES

A análise das manifestações patológicas em revestimentos de alto desempenho aponta para o fato de que a durabilidade desses sistemas parece estar condicionada, primordialmente, à qualidade da interface entre a matriz polimérica e o substrato de concreto. As evidências levantadas neste estudo indicam que a probabilidade de ocorrência de falhas críticas aumenta significativamente diante da negligência técnica das etapas de preparação da base e do descumprimento das diretrizes normativas da NBR 14050 (ABNT, 1998).

Verificou-se que, embora sistemas de diferentes naturezas ofereçam resistências específicas, todos são vulneráveis à presença de umidade e à contaminação superficial do substrato. A recorrência dessas manifestações patológicas, conforme detalhado no diagnóstico sistêmico apresentado, reforça que a mitigação de danos em pisos industriais exige que o foco do controle de qualidade se desloque das simples especificações do material para um rigoroso controle de execução e para o monitoramento das condições de aplicação.

Em última análise, o trabalho evidencia que a integridade funcional do revestimento é o resultado direto de uma visão sistêmica da estrutura. Para garantir a extensão da vida útil e a segurança operacional dos ambientes produtivos, é indispensável que a execução técnica seja pautada pela correta interpretação das variáveis de campo e pelo estrito respeito aos tempos de cura de condições ambientais, minimizando assim a incidência de retrabalhos e falhas prematuras que comprometem o desempenho do sistema.

Portanto, este estudo ressalta a mitigação de prejuízos operacionais e financeiros na indústria nacional que depende de uma abordagem sistêmica, onde o RAD é tratado como uma engenharia de proteção de superfícies e não apenas um acabamento estético. Espera-se este artigo contribua para a tomada de decisões de engenheiros e gestores, fomentando o uso de normas técnicas como ferramenta de garantia de desempenho e durabilidade.

REFERÊNCIAS

ANAPRE. **Manual de Boas Práticas para o Executor de RAD**. São Paulo: ANAPRE, 2022.

ANAPRE. **O mercado de revestimentos de alto desempenho no brasil – cenário e perspectivas do segmento.** Vol. 1, São Paulo: ANAPRE, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14050: **Sistemas de revestimentos de alto desempenho, à base de resinas epoxídicas e agregados minerais – Projeto, execução e avaliação do desempenho – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.

BOLINA, F. L.; HELENE, P. R. L.; TUTIKIAN, B: F. **Patologia de estruturas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 4. Ed. São Paulo: Artliber, 2024.

FIGUEIREDO, S. S. Revestimentos de alto desempenho. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, cap. 35, p. 1151-1194.

JONES, F. N.; NICHOLS, M. E.; PAPPAS, S. P. **Organic coatings: Science and Technology**. v. 4, p. 271-294, 2017.

MARRION, A. R. **The chemistry and physics of coatings**. v. 2, p. 64-95, 2007.

SUKANTO, H.; RAHARJO, W. W.; ARIAWAN, D.; TRIYONO, J.; KAAVESINA, M. **Epoxy resins thermosseting for mechanical engineering**. v. 1, p. 797-814, 2021.

PAOLI, M. A. **Degradação e Estabilização de Polímeros**. 2. Ed. São Paulo: Chemkeys, 2008.

SAIANI, C.; VERÍSSIMO, M. P. **Evidências da importância da indústria e dos serviços para o crescimento econômico dos municípios brasileiros**. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1982-3533.2019v28n3art12. Acesso em: 8 mar. 2026.

SCHWEITZER, P. A. **Corrosion-resistant linings and coatings**. v. 1, p. 280-316, 2001.

CAPÍTULO 96 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/st8fjk71
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/gwavpm86

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Pedro Henrique Cota Drumond[1], Leonardo Maroca de Avelar Viana[1]*; Camila Spagnol Altoé[1]; João Vitor Fioresi Altoé[1]; Klaus Hubert Alves Rodrigues[1]; Diôgo Silva de Oliveira[1] e Reginaldo Carneiro da Silva[1]

*Autor de contato: leonardo.viana@ufv.br

[1] Departamento de Engenharia Civil (DEC), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil

RESUMO

Estruturas de concreto armado empregadas em estações de tratamento de água e esgoto estão expostas a ambientes agressivos, caracterizados pela presença de agentes químicos, biológicos e elevada umidade, fatores que favorecem processos de deterioração. Este trabalho tem como objetivo avaliar o estado de conservação de elementos estruturais de uma estação de tratamento localizada na Universidade Federal de Viçosa por meio de inspeção visual e análise das manifestações patológicas observadas. Foram identificados danos típicos em estruturas de concreto armado, como fissuração, desplacamento do cobrimento, eflorescências e indícios de corrosão das armaduras, associados às condições ambientais e operacionais do sistema. Os resultados permitiram identificar os principais mecanismos de deterioração atuantes, destacando a importância da inspeção periódica para subsidiar ações de manutenção, reparo e reabilitação estrutural.
Palavras-chave: ambiente agressivo; patologia das estruturas; inspeção patológica; ataque químico; corrosão de armaduras.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures used in water and wastewater treatment plants are exposed to aggressive environments characterized by the presence of chemical and biological agents and high humidity, conditions that favor deterioration processes. This study aims to evaluate the conservation condition of structural elements of a treatment facility located at the Federal University of Viçosa through visual inspection and analysis of the observed pathological manifestations. Typical damage in reinforced concrete structures was identified, including cracking, concrete cover spalling, efflorescence, and signs of reinforcement corrosion, associated with the environmental and operational conditions of the system. The results allowed the identification of the main deterioration mechanisms affecting the structures, highlighting the importance of periodic inspections to support maintenance, repair, and structural rehabilitation actions.

Keywords: aggressive environment; structural pathology; pathological inspection; chemical attack; reinforcement corrosion.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado podem apresentar elevada resistência e durabilidade quando projetadas e executadas de forma adequada, considerando as condições de exposição e os agentes agressivos presentes no ambiente em que estão inseridas. Entretanto, fatores como prazos reduzidos para elaboração de projetos e execução de obras, bem como falhas no controle de qualidade, podem favorecer o surgimento de manifestações patológicas capazes de comprometer a durabilidade e o desempenho das estruturas, como desplacamentos, corrosão de armaduras e eflorescências (Lopes, 2018).

A avaliação do estado de conservação de estruturas de concreto pode ser realizada por meio de diferentes técnicas de inspeção e ensaios. Entre os procedimentos mais utilizados destacam-se a inspeção visual, os ensaios não destrutivos, como a esclerometria para avaliação da dureza superficial do concreto, e os ensaios para verificação da profundidade de carbonatação, realizados com indicadores ácido-base, como a fenolftaleína (Silva, 2023). Além desses métodos, outros ensaios complementares podem ser empregados para aprofundar o diagnóstico das condições do material, como a medição do potencial de corrosão das armaduras, a microscopia eletrônica de varredura e a avaliação da penetração de cloretos no concreto por meio da aspersão de nitrato de prata.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma inspeção baseada em análises visuais para avaliar o estado de conservação das estruturas da Estação de Tratamento de Água da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada no município de Viçosa, Minas Gerais. A partir da identificação das manifestações patológicas presentes, busca-se discutir possíveis mecanismos de deterioração associados às condições de exposição e às características construtivas da estrutura.

1.1. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

As estações de tratamento de água apresentam características construtivas e condições de exposição específicas que influenciam diretamente a durabilidade das estruturas de concreto. Em razão do contato constante com água bruta e com produtos químicos utilizados no processo de tratamento, essas estruturas estão sujeitas à ação de diversos agentes agressivos de natureza física, química e biológica.

Para a construção de estações de tratamento de água (ETAs), recomenda-se a utilização de concretos com elevada resistência à abrasão, à ação de produtos químicos, à ataques biológicos e que apresentem adequada estanqueidade. Isso ocorre porque, nas etapas iniciais do tratamento, o líquido pode conter partículas sólidas e substâncias potencialmente agressivas ao concreto. Dessa forma, Dias (2018) considera este um dos ambientes mais agressivos ao concreto.

A proteção das armaduras em estruturas de concreto armado depende da manutenção de um meio altamente alcalino, com pH elevado (superior a 9), condição que favorece a formação de uma camada passivadora sobre o aço. No entanto, esse ambiente alcalino pode ser comprometido por processos como a carbonatação do concreto e o ataque por sulfatos, reduzindo o pH e favorecendo o início de processos corrosivos nas armaduras (Bolina; Tutikian; Helene, 2019).

O tratamento de água envolve uma sequência de etapas físicas e químicas destinadas à remoção de impurezas e à desinfecção da água captada de mananciais naturais. De forma simplificada, esse processo inclui captação, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, seguidas do armazenamento e da distribuição. Apresenta-se na Figura 1 um esquema simplificado do funcionamento de uma estação de tratamento de água.

Essas etapas ocorrem em unidades estruturais, constituídas por tanques e reservatórios de concreto armado, que permanecem expostos à água e a agentes químicos e biológicos, condição que favorece processos de deterioração ao longo do tempo. Apresenta-se na Tabela 1 um resumo das principais etapas do tratamento de água.

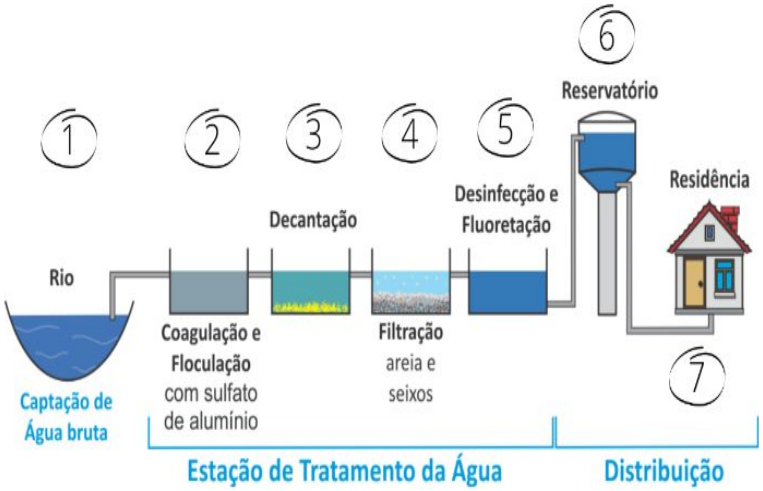


Figura 1: Sequência de funcionamento simplificado de uma ETA.
Fonte: Adaptado de EDUCA (2021).

n°	ETAPAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA
1.	Captação de água bruta - a água é captada e bombeada de rios ou subsolo para as instalações da estação;
2.	Coagulação e floculação - é adicionado Sulfato de Alumínio e corrige-se o PH se necessário; a água passa por um caminho sinuoso e turbulento, para que seja agitada e inicie o processo de coagulação;
3.	Decantação - no tanque de decantação a água é liberada vagarosamente, movimentando-se devagar. Os coágulos formados na etapa anterior sofrem decantação e depositam-se no fundo do tanque, enquanto a água segue para os filtros;
4.	Filtração – a água passa por filtros de areia de diferentes granulometrias para que sejam retidas quaisquer partículas restantes;
5.	Desinfecção e fluoretação – são adicionados cloro e flúor para desinfecção da água, eliminando microrganismos, e contribuir para a proteção da saúde bucal da população;
6.	Reservatório – a água é armazenada em reservatórios (geralmente elevados) para poder ser distribuída por gravidade para a população;
7.	Distribuição – a distribuição pode ser feita por gravidade ou bombeamentos em casos específicos.

Tabela 1: Etapas de tratamento de água.
Fonte: Adaptado de Di Bernardo e Dantas (2005).

1.2. DURABILIDADE DO CONCRETO

As condições de exposição presentes em estações de tratamento de água tornam a durabilidade do concreto um aspecto fundamental para o desempenho dessas estruturas. Por estarem submetidas às intempéries e operarem continuamente, as estruturas de uma ETA são mais suscetíveis a danos quando comparadas a edificações residenciais. Além disso, devido à presença de agentes químicos no processo de tratamento, são necessários cuidados específicos durante o projeto e a execução, em conformidade com as prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2023) e da NBR 12655 (ABNT, 2015),

que estabelecem requisitos relacionados às características, dosagem e dimensões dos elementos estruturais.
A determinação da classe de agressividade ambiental (CAA) à qual o concreto estará submetido é fundamental para a definição de parâmetros como a relação água/cimento (A/C), a classe do concreto, o consumo mínimo de cimento e o cobrimento das armaduras. De acordo com a NBR 12655:2015 (ABNT, 2015), ambientes como ETAs e ETEs devem ser considerados como industriais com elevada atividade química, sendo classificados como CAA IV. Essa classificação exige concretos mais resistentes e menos porosos, além de maiores cobrimentos nominais, a fim de garantir maior durabilidade frente aos agentes agressivos ao longo da vida útil da estrutura.

A NBR 6118:2023 (ABNT, 2023) também estabelece que o cobrimento dos elementos estruturais de estações de tratamento e reservatórios deve corresponder ao da classe de agressividade IV. Dessa forma, recomenda-se que todos os elementos de concreto armado adotem essa mesma classe, considerando a condição mais severa de exposição.

1.3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE AMBIENTES AGRESSIVOS

Em ambientes agressivos, como os presentes em estações de tratamento de água e esgoto, o concreto pode sofrer processos progressivos de deterioração. De acordo com Godinho e Medeiros (2019), o ataque inicia-se na superfície do material e tende a se aprofundar ao longo do tempo. As regiões mais degradadas geralmente correspondem às zonas sujeitas à variação do nível de água ou esgoto ao longo do dia, onde processos de lixiviação e descalcificação dos compostos de cálcio da matriz cimentícia ocorrem com maior intensidade. Além disso, as elevadas taxas de demanda biológica de oxigênio e demanda química de oxigênio relatadas por Silva e Netto (2022) podem favorecer a proliferação de microrganismos que contribuem para a degradação do concreto.

Esse processo pode resultar em diferentes manifestações patológicas, como corrosão das armaduras, desagregação do concreto, fissuração, eflorescências e problemas associados à umidade e infiltração. Exemplos dessas manifestações são apresentados nas Figuras 2 a 5 (Lopes, 2018), Figuras 6 a 8 (Avelar e Saturnino, 2020), Figuras 9 a 11 (Dias, 2018) e Figuras 12 e 13 (Collazzi, 2019).



Figura 2: Corrosão das armaduras.



Figura 3: Desagregação do concreto.

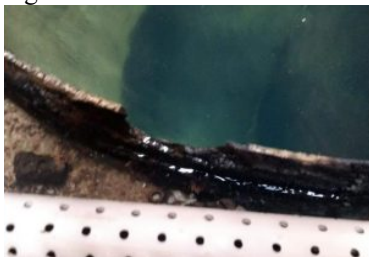


Figura 4: Corrosão na borda da adutora.



Figura 5: Desagregação do concreto, expondo armaduras.

Fonte: Lopes (2018).

Lopes (2018) destaca que, em estruturas de estações de tratamento, a proximidade de pontos de aplicação de produtos químicos pode intensificar a deterioração do concreto e a corrosão das armaduras. Vazamentos em tubulações de transporte de cloro, por exemplo, podem favorecer a formação de compostos ácidos no ambiente, promovendo o ataque químico ao concreto e a desagregação da matriz cimentícia nas regiões adjacentes.



Figura 6: Fissuras e eflorescências.



Figura 7: Umidade e Bolor.



Figura 8: Água perdida pelas manifestações patológicas.

Fonte: Avelar e Saturnino (2020).



Figura 9: Umidade e infiltração em paredes externas dos tanques da ETE.



Figura 10: Corrosão da armadura no tanque de armazenagem de lodo.

Fonte: Dias (2018).



Figura 11: Corrosão acompanhada de fissura no tanque de transição.



Figura 12: Eflorescência na parede externa do reator UASB.



Figura 13: Desagregação do concreto causando exposição das armaduras.

Fonte: Collazzi (2019).

2. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DA UFV

A estação de tratamento de água (ETA) da Universidade Federal de Viçosa, inaugurada em 1970, é responsável pelo abastecimento hídrico do campus. O sistema opera com captação em manancial superficial localizado nas proximidades da universidade, com bombeamento da água bruta até a unidade de tratamento e posterior distribuição por gravidade. Apresenta-se, na Figura 14, a localização do ponto de captação (1) e da ETA (2).



Figura 14: Captação de água (1) e ETA (2) da UFV.

Apresenta-se, na Figura 15, uma vista aérea da estação de tratamento de água localizada na Universidade Federal de Viçosa, destacando as principais unidades do processo de tratamento. Na imagem, estão indicadas as etapas de coagulação, com adição de sulfato de alumínio (2.1) e agitação da água (2.2), seguidos pela decantação (3), filtração (4) e desinfecção com fluoretação (5). Após o tratamento, a água é encaminhada para os reservatórios de armazenamento (6.1 e 6.2), de onde é posteriormente distribuída.



Figura 15: Fluxo do efluente na estação de tratamento de água da UFV.

A avaliação das manifestações patológicas presentes nas estruturas da estação de tratamento de água foi realizada por meio de inspeção visual, conduzida conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 16747 (ABNT, 2020), que trata da inspeção predial. Durante a vistoria, foram registradas as principais anomalias observadas nos elementos estruturais e de vedação da unidade. Apresentam-se, nas Figuras 16 a 40, exemplos das manifestações patológicas identificadas nas diferentes estruturas da ETA.

A inspeção visual das manifestações patológicas foi realizada na estação de tratamento de água seguindo o percurso do fluxo operacional do sistema, iniciando-se no ponto de recebimento da água bruta e avançando sequencialmente pelas unidades de tratamento até os tanques reservatórios finais. Essa estratégia permitiu uma avaliação sistemática das estruturas em consonância com as etapas do processo de tratamento.

A inspeção teve duração aproximada de 3 horas, período durante o qual foram conduzidas as atividades de identificação das manifestações patológicas, registro fotográfico e catalogação das ocorrências observadas. As manifestações foram identificadas com base em análise visual direta, considerando aspectos como fissuração, destacamento de revestimentos, presença de umidade, manchas, corrosão e outros sinais de degradação.

Todas as etapas da inspeção foram realizadas por um único avaliador, responsável pela identificação das manifestações patológicas, operação dos equipamentos e registro das informações. A condução por um único operador visou garantir a uniformidade dos critérios adotados durante a análise.

Para a coleta de dados, foram utilizados um aparelho celular com câmera (Xiaomi Note 9S) para registros fotográficos em campo e um drone (DJI Mini 2), empregado na inspeção de áreas de difícil acesso e na obtenção de imagens aéreas, ampliando o alcance e a abrangência da avaliação.

3. RESULTADOS

A inspeção global da estrutura revelou que, mesmo em elementos não diretamente expostos ao fluxo de água tratada, manifestaram-se patologias decorrentes de agentes agressivos químicos. A seguir, descrevem-se as principais ocorrências observadas nas unidades do sistema de tratamento.



Figura 16: Desgaste do concreto no tanque de adição de sulfato de alumínio.



Figura 17: Eflorescência e desagregação da tinta no tanque agitador.



Figura 18: Infiltração, desagregação do concreto e presença de vegetação na estrutura.



Figura 19: Fissuras no fundo do tanque decantador.



Figura 20: Fissuras no coletor do tanque de decantação.



Figura 21: Presença de precipitação e eflorescência superior.



Figura 22: Fissura paralela à parede do filtro.



Figura 23: Fissuras e desagregação do concreto na parede do canal no interior do filtro.



Figura 24: Erosão e fissuras mapeadas e fissura vertical na parede do filtro.



Figura 25: Fissura vertical com eflorescência na parede externa do filtro.



Figura 26: Infiltração e descolamento de tinta na parede externa do filtro.



Figura 27: Eflorescência no tanque de cloração.



Figura 28: Fissura tratada e presença de bolor no ladrão do reservatório 1.



Figura 29: Fissura tratada com infiltração, eflorescência e precipitação.



Figura 30: Infiltração na parede do reservatório 1.



Figura 31: Parede do reservatório com diversas manifestações patológicas.



Figura 32: Acúmulo de água na cobertura do reservatório 2, com possíveis abatimentos na laje.



Figura 33: Fissura vertical no reservatório apresentando percolação de água.



Figura 34: Rachadura abaixo do ladrão do reservatório 2 com presença de água corrente.



Figura 35: Separação entre duas estruturas próximo à porta de entrada da estrutura em anexo.



Figura 36: Presença de armadura corroída e exposta na laje.



Figura 37: Desplacamento de concreto devido à corrosão e expansão das armaduras.



Figura 38: Fissuras diagonais nos blocos de concreto



Figura 39: Fissura diagonal no revestimento cerâmico do banheiro.



Figura 40: Recalque no piso ao redor do anexo.

Na casa de química, unidade responsável pela dosagem de sulfato de alumínio e pela correção de pH da água tratada, observaram-se manifestações patológicas associadas à ação de agentes físico-químicos. No tanque de adição de sulfato de alumínio verificou-se desgaste superficial do concreto (Figura 16), possivelmente relacionado à ação química dos reagentes utilizados no processo. No tanque agitador adjacente também foram identificadas anomalias, como eflorescência e desagregação do revestimento de pintura (Figura 17), indicando percolação de água e perda de estanqueidade do elemento.

No tanque de decantação, uma das estruturas mais antigas da ETA que ainda permanece em operação, foram observadas manifestações patológicas associadas principalmente à infiltração de água e à fissuração do concreto (Figura 18 a Figura 21) . Verificou-se infiltração acompanhada de desagregação do concreto e presença de vegetação no tubo de condução do afluente (Figura 18), além de fissuras no fundo do tanque (Figura 19) e no coletor (Figura 20). Também foi identificada eflorescência na região superior da estrutura (Figura 21), indicando percolação de água e lixiviação

de compostos da matriz cimentícia. A ocorrência dessas fissuras pode estar associada ao recalque diferencial das fundações observado na estrutura.

No filtro foram observadas manifestações patológicas associadas a processos físico-químicos, como degradação do concreto, fissuração e eflorescência (Figura 22 a Figura 26). A presença de eflorescências indica percolação de água e possível perda de estanqueidade do sistema.

Nos reservatórios 1 e 2 foram observadas manifestações patológicas associadas principalmente à fissuração e infiltração (Figura 28 a Figura 34). No reservatório 1, que passou por intervenção em 2018 para tratamento de fissuras, parte das áreas reparadas não apresentou novos indícios de deterioração. Entretanto, em outros pontos ainda foram identificadas infiltrações e eflorescências. Já o reservatório 2, que passou por manutenção em 2003, apresentou manifestações aparentemente mais severas, incluindo fissuras com percolação de água e acúmulo de água na cobertura, apesar de ocorrerem em menor quantidade.

Na edificação auxiliar localizada próxima aos reservatórios da ETA foram observadas diversas manifestações patológicas, incluindo corrosão e exposição de armaduras na laje, desplacamento do concreto e fissuração em elementos estruturais (Figura 35 a Figura 40). Também foram identificadas fissuras e trincas de maior abertura, possivelmente associadas à movimentação do solo, que em alguns pontos permitem significativa passagem de água.

No anexo, por exemplo, observou-se grau acentuado de desplacamento em diversos componentes, atribuído à expansão volumétrica das armaduras por corrosão. Adicionalmente, o cobrimento de concreto mostrou-se insuficiente para a classe de agressividade ambiental da edificação. Como a construção data de 2000, foi projetada sob normativas anteriores à incorporação explícita dos critérios de durabilidade (NBR 6118:2014 e atualizações), fator que potencializou o avanço de manifestações que poderiam ter sido mitigadas com diretrizes contemporâneas de projeto.

As fissuras constituíram a manifestação patológica de maior ocorrência, presente em todos os elementos da ETA. Embora suas causas sejam multifatoriais, a estrutura como um todo apresentou comprometimento contínuo, com percolação de água mesmo após reparos pontuais. Tal infiltração favoreceu deteriorações secundárias, como proliferação de bolor e vegetação. A impermeabilização adequada revela-se imprescindível, pois o fluxo hídrico contínuo pode comprometer não apenas a integridade do elemento fissurado, mas também o solo de fundação por meio de processos de adensamento e perda de capacidade de suporte.

De maneira geral, todos os componentes envolvidos no processo de tratamento de água exibiram manifestações patológicas similares, decorrentes da exposição a agentes químicos análogos em cada etapa. Parte significativa das anomalias relaciona-se diretamente a processos químicos, como lixiviação da pasta de cimento e deterioração do revestimento por infiltração. Já o desgaste superficial do concreto e as fissuras apresentam etiologia multifatorial, exigindo ensaios específicos para identificação precisa da causa predominante.

Quanto à severidade, o anexo apresentou o estado de degradação mais avançado, com corrosão generalizada, desplacamento e fissuração avançada. Análise preliminar sugere relação entre esta última e recalque diferencial das fundações, embora ensaios geotécnicos e estruturais detalhados sejam indispensáveis para confirmação e definição de soluções reparatórias eficazes.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada uma avaliação visual das manifestações patológicas da Estação de Tratamento de Água da Universidade Federal de Viçosa, campus Viçosa. Com o aumento da demanda de água devido à ampliação do número de estudantes, funcionários e edificações, tornou-se necessária a expansão da capacidade da ETA, o que pode acabar agravando manifestações patológicas pré-existentes ou gerando novos danos em função do aumento da demanda operacional, que promove um maior número de ciclos de tratamento. Outros fatores que podem ser responsáveis pela deterioração da estrutura são: instabilidade do terreno de topo de morro, construções reaproveitadas (estruturas originalmente projetadas para outros fins, além de terem sido concebidas com base em normas antigas que não contemplavam plenamente conceitos de durabilidade) e falta de manutenção, tanto em preventiva quanto corretiva.

Embora seja possível verificar uma grande quantidade de manifestações patológicas ao longo da edificação, grande parte dessas pode ser tratada por meio de intervenções relativamente simples. Exemplos disso são os desplacamentos sem detecção de corrosão das armaduras, a ocorrência de eflorescência e a presença de vegetação, como plantas e musgo, em determinados locais. Porém, em termos de durabilidade, ensaios mais elaborados fazem-se necessários para verificar propriedades mecânicas e características do estado atual do concreto estrutural, como pH, resistência à compressão, grau de deterioração da armadura, entre outros aspectos.

Com relação aos danos estruturais, também é necessário que ensaios, tanto na estrutura quanto no solo, sejam realizados, uma vez que foi possível detectar fissuras com aberturas superiores aos limites recomendados por normas. A necessidade de reforços estruturais e escoramentos também deve ser analisada, considerando a idade avançada da estrutura e a importância desta para atender às demandas da instituição.

Para trabalhos futuros recomenda-se a realização de análises específicas (carbonatação, cloretos, potencial de corrosão e ultrassom) para elucidar as causas exatas de cada manifestação e propor intervenções tecnicamente fundamentadas. Igualmente relevante é a avaliação comparativa de sistemas de impermeabilização e proteção superficial, verificando sua eficácia na prevenção de danos em estruturas projetadas segundo normativas recentes de durabilidade.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio e fomento à pesquisa. Agradecem também ao Sr. João Francisco de Paula Pimenta pelo apoio e pela receptividade durante as visitas técnicas à Estação de Tratamento de Água (ETA). Por fim, agradecem à Diretoria de Meio Ambiente pela autorização e pelo suporte concedido para a realização deste estudo nas instalações da ETA.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

CARACTERIZAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS E DE TRATAMENTO DE ESGOTOS. Pernambuco: A Cbpc – Companhia Brasileira de Produção Científica, 2020. Disponível em: https://tratamentodeagua.com.br/artigo/manifestacoes-patologicas-estacoes-elevatorias-tratamento-esgotos/. Acesso em: 14 set. 2022.

AVELAR, Karoliny de Castro; SATURNINO, Maisa Melo. **PERDA DE ÁGUA POR MEIO DE PATOLOGIAS NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE GOIANÉSIA-GO**. 2020. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2020. Disponível em: http://repositorio.aee.edu.br/handle/aee/17006. Acesso em: 02 nov. 2020.

BOLINA, Fabrício Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Patologia de estruturas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

BRK (org.). **Conheça as etapas do processo de tratamento de esgoto**. 2019. Disponível em: https://blog.brkambiental.com.br/etapas-tratamento-de-esgoto/. Acesso em: 02 nov. 2022.

COLLAZZI, Rafaella Colombo. **PATOLOGIAS CONSTRUTIVAS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO Causa, recuperação e prevenção em reatores UASB's**. 2019. 113 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Florianópolis, Florianópolis, 2019. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1486/TCC%20-%20Rafaella%20Collazzi.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 14 set. 2022.

DIAS, Nayara Gracyelle. **AVALIAÇÃO DA DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**. 2018. 205 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019. Disponível em: https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/9301/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Nayara%20Gracyelle%20Dias%20-%202018.pdf. Acesso em: 14 set. 2022.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Ângela Di Bernardo. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. São Carlos: Rima, 2005.

GODINHO, Jayson Pereira; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de. BIODETERIORAÇÃO DO CONCRETO ARMADO EXPOSTO À AGRESSIVIDADE AMBIENTAL DO REATOR UASB DE UMA ESTAÇÃO D. **Revista Técnico-Científica**, Curitiba, v. , p. 1-15, set. 2019. Disponível em: https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/628. Acesso em: 04 nov. 2022.

LOPES, Alisson Roberto Costa. **ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO TANQUE DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS (TAPQ) DA ETA RIO DESCOBERTO - BRASÍLIA/DF**. 2018. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/13950/1/21315809.pdf. Acesso em: 14 set. 2022.

SILVA, Aldo César Rosa da; NETTO, Antonio Pedro de Oliveira. CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES TRATADOS EM ESTAÇÕES COMPACTAS PARA REÚSO DIRETO NÃO POTÁVEL URBANO. **Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Palhoça, v. 11, p. 178-197, mar. 2022. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9063/6006. Acesso em: 02 nov. 2022.

SILVA, Vivian Steffanny Rodrigues da. **ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO RESERVATÓRIO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA – ETA DO MUNICÍPIO DE OLHO D'ÁGUA DO CASADO (AL). 2023.** 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Campus Sertão, Delmiro Gouveia, 2023.

CAPÍTULO 97 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/g6zmkm31
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/cfmc2881

APLICAÇÃO DA MATRIZ GUT NA PRIORIZAÇÃO DE DANOS EM PONTE DE CONCRETO: ESTUDO DE CASO DA PONTE GREGÓRIO BEZERRA – RECIFE/PE

Hortência Rodrigues da Silva[1]*, José Victor Pereira dos Santos [2]; Marcos Mendonça Barbosa [3], Valdemir Nery de Santana Júnior [4]; Felipe Mendes da Cruz[5] e Eliana Cristina Barreto Monteiro[6]
*Autor de contato: hrs@poli.br

[1] Mestranda em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[2] Mestrando em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[3] Mestrando em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[4] Mestrando em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[5] Professor Doutor, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[6] Professora Doutora, Universidade de Pernambuco e Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil

RESUMO

A cidade do Recife apresenta grande quantidade de pontes submetidas à ação contínua das marés e ao ambiente marinho. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo identificar e classificar os danos observados na Ponte Gregório Bezerra por meio de inspeção visual. Para a priorização das intervenções, aplicou-se a matriz GUT. Os resultados evidenciaram maior criticidade nas regiões dos tubulões expostos à variação de maré, com ocorrência de corrosão avançada. Elementos da mesoestrutura e superestrutura apresentaram danos de menor severidade, demandando intervenções pontuais. A metodologia demonstrou ser uma ferramenta eficiente para apoiar a tomada de decisão na gestão de manutenção de pontes urbanas.
Palavras-chave: diagnóstico; pontes em concreto; levantamento de danos; matriz GUT.

ABSTRACT

The city of Recife has a large number of bridges subjected to continuous tidal action and the marine environment. In this context, the present study aimed to identify and classify the damage observed on the Gregório Bezerra Bridge through visual inspection. The GUT matrix was applied to prioritize interventions. The results showed greater criticality in the caisson regions exposed to tidal variation, with advanced corrosion. Elements of the substructure and superstructure presented less severe damage, requiring only targeted interventions. The methodology proved to be an efficient tool to support decision-making in the maintenance management of urban bridges.
Keywords: diagnosis; concrete bridges; damage assessment; GUT matrix.

1. INTRODUÇÃO

A integridade estrutural de pontes é influenciada por uma combinação de fatores internos e externos que, ao longo do tempo, contribuem significativamente para processos de degradação, muitas vezes silenciosos e cumulativos (Zhang et al., 2022).

De acordo com os estudos de Bozio e Fisch (2023), a degradação de pontes de concreto armado é agravada por uma série de fatores, dentre os quais se destacam a exposição a ambientes agressivos, falhas construtivas, aplicação de sobrecargas não previstas no projeto original e, principalmente, a ausência ou ineficácia de ações preventivas de manutenção e monitoramento.

A cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, é conhecida como a "Veneza Brasileira" em razão da expressiva quantidade de pontes que conectam suas diversas ilhas e atravessam seus rios. Essas estruturas encontram-se constantemente expostas às variações de maré e à ação de agentes agressivos típicos de ambiente marinho. Como consequência, podem apresentar perda gradual ou mesmo repentina de sua capacidade de atender aos critérios de resistência, estabilidade e durabilidade exigidos para seu desempenho seguro.

Diante desse contexto, o presente artigo tem por objetivo identificar e classificar os danos observados na Ponte Gregório Bezerra, por meio de inspeção visual, bem como aplicar a matriz GUT (Gravidade x Urgência x Tendência), a fim de subsidiar um diagnóstico técnico de intervenção, estruturado de forma clara e acessível.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição e característica da ponte

A Ponte Gregório Bezerra está localizada sobre o braço morto do rio Capibaribe ligando o bairro da Ilha do Retiro ao bairro da Ilha Joana Bezerra, Recife-PE. Inaugurada em 2004, possui estrutura em concreto protendido com faixa de rolamento com largura de 14,00 m e ciclovia de 2,50 m, vão central de 32,00 m, comprimento de 117,00 m, com 5 vãos e com largura do passeio de 1,70 m e 2,00 m, conforme Figura 1.

Figura 1 –Vista panorâmica da Ponte Gregório Bezerra



Fonte: os autores.

A superestrutura é composta por um tabuleiro de vigas longarinas. A mesoestrutura é composta vigas travessas e infraestrutura por tubulões a ar comprimido, disposto em linhas, conforme Figura 2.

Figura 2–Elementos estruturais da Ponte Gregório Bezerra



Fonte: os autores.

2.2 Critérios da matriz GUT

Para a pesquisa foram considerados 5 graus de Gravidade com notas variando de 1 a 5, com o objetivo de relacionar as manifestações patológicas observadas na ponte e seu potencial de dano para a estrutura, bem como com a segurança dos usuários com este equipamento público.

Para situações em que não houve nenhum risco à integridade da ponte, considerou-se o grau “sem gravidade” e nota 1 correspondente. Para situações de pequenos incômodos estéticos, substituições de sistemas ou reparos de manutenção tem-se o grau “pouco grave” com nota 2. Para situações observadas de deterioração que necessite de reparo ou restauração que possa provocar perda de funcionalidade definiu-se o grau “grave” com nota 3.

Para situações de impacto recuperável com o comprometimento parcial do desempenho e funcionalidade, considerou-se o grau “muito grave” com nota 4. E por fim, para situações observadas de risco de colapso pontual ou generalizado ou de impacto irrecuperável com perda excessiva do desempenho e funcionalidade, considerou-se o grau “extremamente grave” com nota 5, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Pontuação da GUT – Gravidade

Nota	Grau	Definição do grau
1	Sem gravidade	Nenhum risco à integridade da ponte.
2	Pouco grave	Pequenos incômodos estéticos ou de utilização, pequenas substituições de componentes ou sistemas, reparos de manutenção planejada para recuperação ou prolongamento de vida útil.
3	Grave	Deterioração passível de restauração/reparo, podendo provocar perda de funcionalidade.
4	Muito grave	Impacto recuperável com o comprometimento parcial do desempenho e funcionalidade (vida útil da estrutura)
5	Extremamente grave	Risco de colapso pontual ou generalizado, impacto irrecuperável com perda excessiva do desempenho e funcionalidade, comprometimento irrecuperável da vida útil.

Fonte: adaptada de Piazza (2019).

Foi adotado também 5 graus de Urgência com notas de 1 a 5 com a finalidade de analisar o nível de significância da manifestação patológica no tempo em que o dano precisa ser tratado e solucionado e na velocidade com a qual a estrutura da ponte danificada deva sofrer alguma intervenção.

Para situações sem urgência identificada considerou-se o grau “nenhuma” com nota 1. Para situações de sinais preliminares de degradação requerendo ação preventiva em prazo não urgente definiu-se o grau “baixa” com nota 2. Para situações de cenário de deterioração com tendência de evolução rápida adotou-se o grau “média” com nota 3.

Para situações de incidentes prestes a ocorrer com intervenção urgente com necessidade de medidas corretivas emergenciais considerou-se o grau “grande urgência” com nota 4. E por fim, para situações de incidente em ocorrência com intervenção imediata passível de interdição da ponte definiu-se o grau “emergência” com nota 5, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Pontuação da GUT – Urgência

Nota	Grau	Definição do grau
1	Nenhuma	Sem urgência identificada, faz-se necessário manutenção preventiva.
2	Baixa	Sinais preliminares de degradação, requerendo ação preventiva em prazo não urgente.
3	Média	Cenário de deterioração com tendência de evolução rápida.
4	Grande urgência	Incidente prestes a ocorrer. Intervenção urgente, com necessidade de medidas corretivas emergenciais.
5	Emergência	Incidente em ocorrência. Intervenção imediata, passível de interdição da ponte.

Fonte: adaptada de Piazza (2019).

Definiu-se também 5 graus de Tendência com notas de 1 a 5 com o propósito de avaliar a probabilidade de agravamento ou redução do problema com o passar do tempo caso nenhuma medida seja tomada.

Para situações de evolução estável, adotou-se o grau “nenhuma” com nota 1. Para situações de possível evolução ao longo dos anos definiu-se o grau “baixa” com nota 2. Para situações de evolução lenta considerou-se o grau “média” com nota 3. Para situações de evolução acelerada adotou-se o grau “grande urgência” com nota 4. E por fim, para situações de evolução imediata definiu-se o grau “emergência com nota 5, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Pontuação da GUT – Tendência

Nota	Grau	Definição do grau
1	Nenhuma	Evolução estável.
2	Baixa	Possível evolução, ao longo dos anos.
3	Média	Evolução lenta.
4	Grande urgência	Evolução acelerada.
5	Emergência	Evolução imediata.

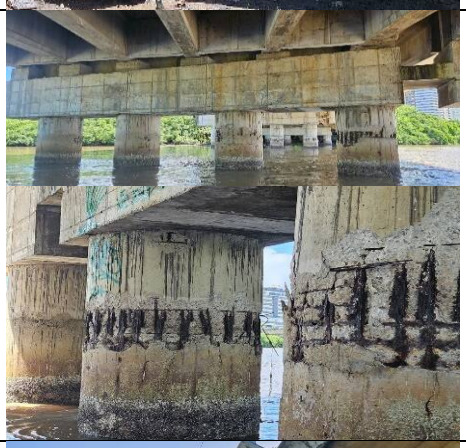
Fonte: adaptada de Piazza (2019).

Obtidas os pesos para cada campo (Gravidade, Urgência e Tendência), o estudo passa a classificar o nível de cada manifestação patológica da ponte, calculando o produto dos seus respectivos valores (GxUxT). Foram relacionadas as prioridades por ordem decrescente do valor obtido para cada manifestação patológica, aplicada a cada elemento estrutural da ponte (infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura).

3. LEVANTAMENTO DOS DANOS

O Quadro 4 elenca os danos encontrados na Ponte Gregório Bezerra, separados por elemento estrutual:

Quadro 4 – Levantamento de danos na Ponte Gregório Bezerra

Elemento Estrutural	Registro	Manifestação Patológica
Bloco		• Calcinação do concreto • Destacamento do concreto • Exposição de armaduras oxidadas
Tubulões		• Incrustação de moluscos • Fissuras e trincas • Destacamento do concreto • Exposição de armaduras oxidadas
Viga Travessa		• Fissuras • Manchas formadas por infiltrações
Vigas Longarinas		• Integras
Laje do tabuleiro		• Pontos de infiltração • Manchas formadas por infiltrações • Pontos de exposição de armaduras

Fonte: os autores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A cidade do Recife está sujeita ao regime de maré semidiurno, caracterizado pela ocorrência de duas baixa-mares e duas preamares ao longo do dia. De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, a estrutura enquadra-se na classe de agressividade ambiental IV, correspondente a ambiente muito agressivo, com elevado risco de deterioração do concreto e das armaduras.

Observa-se que os tubulões localizados na faixa de variação da maré encontram-se significativamente comprometidos, apresentando desprendimento do concreto de cobrimento e armaduras com elevado nível de corrosão. De acordo com Bernardo et al. (2025), a corrosão das armaduras configura-se como um dos processos mais destrutivos para as estruturas de concreto armado.

Conforme descrito por Martins (2025), o processo de degradação se inicia a partir do interior da estrutura, ocorrendo primeiramente a perda da camada passivadora que protege as armaduras. Com isso, as armaduras ficaram expostas diretamente à ação de agentes agressivos, em virtude da ausência de barreiras de proteção. O avanço da corrosão provoca a expansão volumétrica do aço, resultando no destacamento do concreto de cobrimento, deixando a superfície que está sujeita à variação da maré ainda mais suscetível a novos danos.

As travessas mostram um quadro de manchas por infiltração e um quadro de fissuras em suas cabeceiras, devido à ausência de um dispositivo que direcione o caimento da água. A laje do tabuleiro, internamente se encontra integra, entretanto, a laje externa do passeio, devido a falha da pingadeira, é visível pontos de oxidação e manchas, devido a presença da água.

No Quadro 5, observa-se que cada manifestação patológica foi classificada utilizando o método GUT.

Quadro 5 – Matriz GUT da Ponte Gregório Bezerra

Levantamento de Danos			G	U	T	GUT	Total
Grupo	Subgrupo						
Corrosão de Armadura	Infraestrutura	Tubulão	4	4	4	64	88
	Mesoestrutura	Travessa	2	2	3	12	
	Superestrutura	Tabuleiro	2	2	3	12	
Fissuras/Trincas	Infraestrutura	Tubulão	4	4	4	64	72
	Mesoestrutura	Travessa	2	2	1	4	
	Superestrutura	Tabuleiro	2	2	1	4	
Eflorecência	Infraestrutura	Tubulão	1	1	1	1	3
	Mesoestrutura	Travessa	1	1	1	1	
	Superestrutura	Tabuleiro	1	1	1	1	
Manchas	Infraestrutura	Tubulão	1	1	1	1	11
	Mesoestrutura	Travessa	1	2	1	2	
	Superestrutura	Tabuleiro	2	2	2	8	

Fonte: os autores.

As manifestações associadas à corrosão das armaduras concentram os maiores índices de criticidade, especialmente na infraestrutura (tubulões), que alcançaram um valor de GUT igual a 64. Esse resultado está diretamente relacionado ao alto potencial de comprometimento estrutural

causado pela corrosão, que, ao provocar a perda de seção útil das armaduras, pode comprometer a estabilidade da ponte.

Na mesoestrutura (travessas) e superestrutura (tabuleiro), os valores de GUT para corrosão foram de 12, mantendo-se em patamar relevante, mas inferior ao verificado na infraestrutura, sinalizando a necessidade de monitoramento constante e intervenções preventivas.
As fissuras e trincas também apresentaram destaque nos tubulões, com GUT igual a 64, esses danos indicam processos de degradação avançados, podendo favorecer a penetração de agentes agressivos, acelerando a corrosão das armaduras.

Nos demais elementos (travessas e tabuleiro), fissuras e trincas apresentaram valores mais baixos de GUT (4), o que sugere menor urgência de intervenção, embora devam ser acompanhadas para evitar evolução do quadro.

Por outro lado, manifestações de eflorescência obtiveram valores uniformes e reduzidos (GUT=1) em todos os subgrupos analisados, caracterizando-se, neste contexto, como manifestações predominantemente estéticas, com baixa interferência na segurança estrutural. As manchas causadas por infiltração tiveram valores intermediários, destacando-se o tabuleiro com GUT=8, indicando a necessidade de monitoramento para evitar a evolução para um quadro mais severo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da Matriz GUT possibilitou identificar, de forma objetiva, os pontos mais críticos da ponte analisada, auxiliando na priorização de intervenções conforme o grau de comprometimento estrutural.

A Ponte Gregório Bezerra destacou-se o processo avançado de corrosão nas regiões de tubulões sujeitos à ação direta da maré, demandando intervenções corretivas. Na mesoestrutura e superestrutura, demandam limpeza superficial e reparo pontual.

O estudo reforça a importância do uso de metodologias simples e sistemáticas, como a Matriz GUT, para apoiar tecnicamente a tomada de decisão na gestão de manutenção de pontes, sobretudo em contextos urbanos com recursos limitados e exposição ambiental agressiva. Essa abordagem contribui diretamente para prolongar a vida útil das estruturas, garantir a segurança dos usuários e otimizar os investimentos públicos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.

BERNARDO, J.M.E; SILVA, A.G DA; CAMPOS, A.M; SALES, C.E.C; ROSA, D. DAS; GM, FERREIRA, L.H; OLIVEIRA, M. DE S. Patologias em estruturas de concreto armado: Diagnóstico, intervenções e estudo de caso em um edifício comercial. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, 14 (6), e5114649057, 2025.

BOZIO, A.; FISCH, B. **Degradação de pontes de concreto armado ao longo do ciclo de vida: fases, causas e estratégias de manutenção**. Revista Alconpat, 2023.

MIRANDA, B. C. DE; PEREIRA, D. M. M.; GOMES, H. T; SILVA, J. C. P. DA; MOLLINARI, J. V. R.; ANDRADE, L. B. **Investigação de falhas em estruturas de concreto armado: umidade e infiltração em vigas e pilares**. Revista Delos, 18(68), e5435, 2025.

ZHANG, Y.; SILVA, J.; PEREIRA, L.; COSTA, M. F**atores que influenciam a integridade estrutural de pontes: uma revisão dos processos de degradação silenciosos e cumulativos**. Revista Alconpat, 12(3), 45-60, 2022.

CAPÍTULO 98 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/m5ktj355
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/wpmr2k14

MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DE DANOS E FORMULAÇÃO DE DIRETRIZES TÉCNICAS DE RESTAURO EM IMÓVEL ESPECIAL DE PRESERVAÇÃO: ESTUDO DE CASO NO RECIFE

Rômulo Pereira[1]*, Allefy Sampaio [2]; Everson Albuquerque [3]; Eliana Barreto [4] e Willames de Albuquerque [5]
*Autor de contato: romulo.p@live.com

[1] Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[2] Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[3] Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
[4] Engenharia Civil/ICANTECH, Universidade de Pernambuco/Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil
[5] Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil

RESUMO

Este artigo apresenta o mapeamento de danos e diretrizes de restauro para um Imóvel Especial de Preservação (IEP), em Recife, Brasil, provavelmente construído na segunda metade do século XIX e de relevante valor histórico-arquitetônico. A pesquisa, de abordagem qualitativa e exploratória, incluiu revisão bibliográfica, levantamento histórico-arquitetônico e diagnóstico das manifestações patológicas. As inspeções identificaram elevado grau de deterioração, com fissuras, destacamentos, eflorescências e descaracterizações. Com base nas análises, foram propostas diretrizes compatíveis com os materiais e técnicas originais, priorizando a autenticidade e reforçando a importância de metodologias sistematizadas para a preservação urbana.
Palavras-chave: Patrimônio construído; Manifestações patológicas; Diagnóstico; Preservação.

ABSTRACT

This article presents damage mapping and restoration guidelines for a Special Preservation Property (IEP) in Recife, Brazil, likely built in the second half of the 19th century and of significant historical-architectural value. The qualitative and exploratory study included literature review, historical-architectural survey, and diagnosis of pathological manifestations. Inspections identified severe deterioration, including cracks, detachments, efflorescence, and alterations. Based on the analyses, guidelines compatible with original materials and techniques were proposed, prioritizing authenticity and emphasizing the importance of systematic methodologies for urban preservation.
Keywords: Built heritage; Pathological manifestations; Survey; Diagnosis.

1. INTRODUÇÃO

O patrimônio arquitetônico representa uma construção coletiva de valor cultural, histórico e simbólico, compreendendo edificações que trazem em sua materialidade os testemunhos de épocas, estilos e modos de vida (ELYASI; YAMACLI, 2023). Trata-se de uma herança tangível que expressa identidades e memórias sociais, tornando-se essencial para o entendimento da evolução das cidades e da arquitetura (OLIVEIRA; MUSSI; ENGERROFF, 2020).

Estudos sobre o tema destacam que a valorização e a conservação desses bens devem ir além da estética, envolvendo também aspectos sociais, funcionais e afetivos que conectam a comunidade ao espaço construído (ROSSITTI; OTERI; TORRIERI, 2025). Essa abordagem amplia o entendimento sobre o papel da preservação na construção da memória urbana, conferindo centralidade às estratégias de conservação e restauro (BO; ABDUL RANI, 2025).

A identificação e análise das manifestações patológicas em edificações históricas constituem etapas fundamentais para a formulação de propostas de intervenção coerentes com os princípios da preservação (VIDAL; MÁXIMO, 2025). Nesse contexto, o mapeamento de danos é visto como uma ferramenta eficiente para diagnosticar o estado de conservação do patrimônio arquitetônico e embasar diretrizes de intervenção que respeitem as características originais da edificação, ao considerar a sua inserção em dinâmicas contemporâneas de uso e ocupação do solo (AMORIM *et al*., 2023; BARTHEL; LINS; PESTANA, 2022).

Pode-se definir mapa de danos como a ferramenta visual que combina registros gráficos e fotográficos para documentar, de forma clara e detalhada, o estado de conservação de uma edificação, permitindo o acompanhamento da localização, da extensão e da evolução das anomalias (ALBUQUERQUE *et al*., 2020). Essa ferramenta auxilia na compreensão das causas dos danos e permite direcionar intervenções que respeitem tanto os elementos formais quanto o valor cultural da edificação (NASCIMENTO *et al*., 2024).
Além disso, a definição de diretrizes de restauro com base em critérios técnicos e históricos possibilita decisões mais equilibradas entre conservação e funcionalidade, sobretudo em contextos urbanos com demandas contemporâneas (CASTRIOTA; SOUSA, 2024). A integração entre diagnóstico técnico e leitura histórica do bem é, portanto, fundamental para preservar a autenticidade do imóvel e garantir sua continuidade na paisagem urbana (ZHAO; LIU; ZHENG, 2025).

No Brasil, o tombamento do patrimônio arquitetônico pode ser realizado em três esferas de gestão – federal, estadual e municipal – cada uma com competências definidas pela Constituição Federal e regulamentações específicas (BRASIL, 1988). No caso do imóvel objeto deste estudo, trata-se de um tombamento em nível municipal, conforme estabelece a Lei nº 16.284, de 22 de janeiro de 1997, que define os Imóveis Especiais de Preservação (IEP) como exemplares isolados de arquitetura significativa para o patrimônio histórico, artístico e/ou cultural da cidade do Recife (RECIFE, 1997). Dessa forma, o IEP estudado está sob a gestão de preservação da Diretoria de Preservação do Patrimônio Cultural (DPPC), subordinada à Secretaria de Planejamento Urbano (SEPLAN) da Cidade do Recife. Esse enquadramento confere ao bem proteção jurídica local, mas também o insere em diálogos urbanos específicos, nos quais sua conservação deve se harmonizar com as políticas de uso do solo, mobilidade e adensamento da cidade (FIGUEIREDO, 2014). Além disso, pesquisas recentes apontam que o tombamento municipal promove maior envolvimento da comunidade na gestão do patrimônio, favorecendo práticas colaborativas e ações que valorizam usos contemporâneos compatíveis com a historicidade do imóvel (OLIVEIRA, 2023).

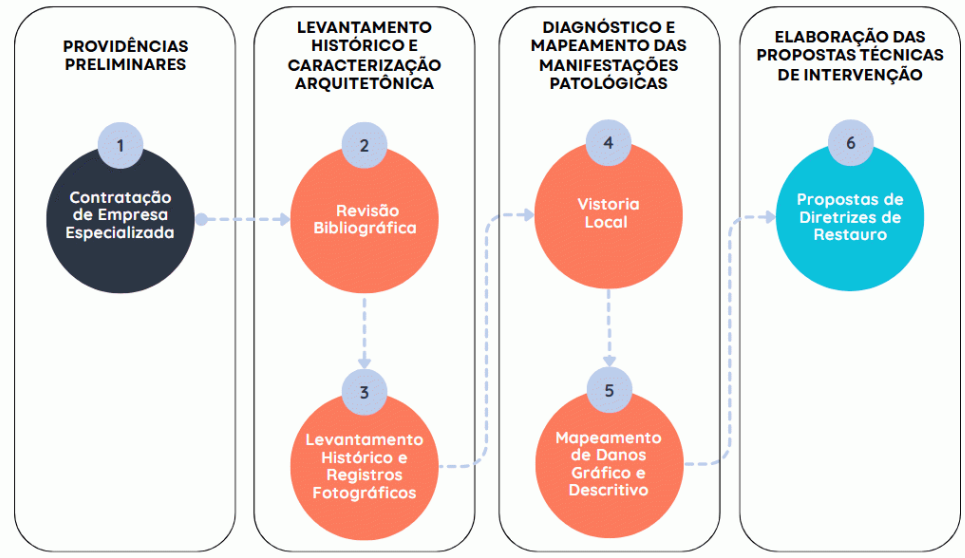
O IEP estudado está inserido no contexto urbano do Recife, uma metrópole marcada por crescentes pressões urbanas, tais como especulação imobiliária, gentrificação e verticalização, que ameaçam tanto a integridade física da edificação quanto o seu papel social (LIMA; LACERDA; ANJOS, 2020).

Diante desse cenário, o mapeamento de danos e a proposição de diretrizes de conservação mostram-se necessárias para orientar intervenções que conciliem cuidado patrimonial e adaptabilidade às transformações urbanas, assegurando funcionalidade, segurança e inclusão social (RAMOS; GROETELAARS; SANTOS, 2024; SILVA; CUPERSCHMID, 2022).

2. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Para embasar as análises técnicas e a definição das diretrizes de intervenção, foi realizada inicialmente uma revisão bibliográfica sobre manifestações patológicas, patrimônio cultural e métodos de elaboração de mapas de danos, com pesquisa em bases científicas como *Scopus*, *Web of Science* e Portal Capes. O estudo adotou uma abordagem qualitativa e exploratória, estruturada em 6 etapas, conforme fluxograma proposto na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do método proposto.



Fonte: os autores.

Para garantir o rigor técnico e a consistência da metodologia, foram analisados materiais desenvolvidos por uma empresa especializada, contratada pelo proprietário do imóvel, para subsidiar as análises técnicas realizadas na pesquisa, no contexto de um projeto mais amplo que visa à construção de um novo empreendimento na área do terreno onde se localiza o imóvel, destinado a atender demandas complementares de uma empresa privada. A contratação compreendeu o levantamento histórico do imóvel, o diagnóstico das manifestações patológicas existentes e a proposição de intervenções técnicas adequadas para o restauro.

2.1. Diagnóstico e Mapeamento das Manifestações Patológicas

Realizou-se inspeções visuais sistemáticas para identificação e registro das patologias presentes na estrutura física do imóvel. O mapeamento gráfico foi elaborado diretamente sobre as plantas da edificação, permitindo avaliar a extensão e a localização dos danos. As principais

ocorrências incluíram fissuras, rachaduras, destacamento de revestimento, eflorescências, manchas de umidade, biodeterioração e deformações em paredes de alvenaria.

Complementarmente ao mapeamento gráfico, foi elaborado um relatório técnico descritivo, fundamentado em métodos consolidados de avaliação visual e tátil, além de pequenas prospecções, seguindo critérios técnicos reconhecidos na literatura e em manuais técnicos de restauro arquitetônico, como a utilização de materiais compatíveis com os originais, a adoção de soluções que não comprometam a estrutura existente, a intervenção apenas onde for necessário e o respeito às características arquitetônicas e históricas do imóvel, de modo a preservar sua identidade visual e cultural.

2.2. Elaboração das Propostas Técnicas de Intervenção

Com base no diagnóstico realizado anteriormente, foram propostas soluções técnicas específicas e compatíveis com os materiais e técnicas construtivas originais do imóvel. As intervenções contemplaram a recuperação e preservação dos elementos arquitetônicos, a estabilização estrutural e a adoção de medidas preventivas para evitar futuras manifestações patológicas.

Todas as propostas foram detalhadamente descritas e representadas graficamente, de modo a assegurar a clareza e a viabilidade de execução. A descrição dos serviços seguiu referências os manuais técnicos e os cadernos de encargos elaborados pelo Monumenta/BID, o material técnico do Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada – CECI (2006) sobre obras de restauro do patrimônio cultural, os dicionários específicos no campo da arquitetura e restauro do patrimônio edificado e bibliografias referentes aos materiais e técnicas construtivas tradicionais.
As pranchas gráficas indicaram as intervenções recomendadas, permitindo a identificação dos elementos a serem restaurados, os materiais a serem utilizados e os procedimentos construtivos mais adequados, sempre considerando as características originais do imóvel.

3. RESULTADOS OBTIDOS

A aplicação das etapas da metodologia descrita possibilitou a obtenção de informações técnicas importantes sobre o estado de conservação do imóvel. Os resultados apresentados sintetizam as principais informações coletadas durante o levantamento, diagnóstico e proposição das intervenções, servindo de base para a elaboração das diretrizes de restauro da edificação.

3.1. Identificação e Conhecimento do Bem

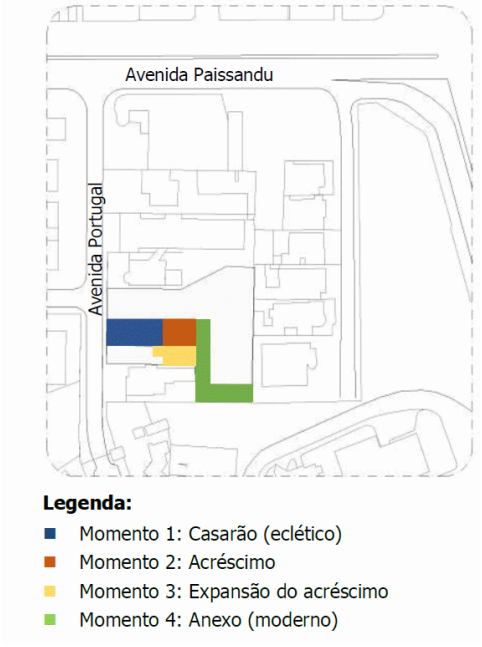
A Lei nº 16.284, de 22 de janeiro de 1997, define no Art. 2º, que os Imóveis Especiais de Preservação (IEP) são exemplares isolados de arquitetura significativa para o patrimônio histórico, artístico e/ou cultural da cidade do Recife. Essa lei ainda estabelece, no seu Anexo I, que o imóvel objeto deste estudo, situado no bairro do Paissandu, Recife-PE, é considerado o IEP nº 23[13]. Ainda conforme o plano diretor municipal vigente, o IEP nº 23 está situado na Zona de Desenvolvimento Sustentável (ZDS) Capibaribe (RECIFE, 2021).

O IEP nº 23 abrigou a Casa do Estudante da Universidade do Recife, atual Universidade Federal de Pernambuco, e não há conhecimento até o presente momento da data exata de construção da edificação, assim como a finalidade original do edifício e o período em que ele abrigou a Casa do Estudante (LOPES; VALADARES, 2017). No entanto, estudos de sobreposição de mapas antigos verificaram o provável registro de existência de um casarão referente ao IEP nº

23 com data de 1906. Nota-se, ainda, que é possível que o edifício tenha sido construído na segunda metade do século XIX, ao considerar que este foi o período inicial do desenvolvimento urbano na região (LOPES; VALADARES, 2017).

Com relação às características arquitetônicas e estilísticas do imóvel, notou-se que a edificação foi composta por, no mínimo, quatro momentos construtivos que são perceptíveis a partir da distinção estilística e tectônica das suas partes. Inicialmente, nota-se o edifício principal, referente a um casarão de dois pavimentos, em estilo eclético. Além disso, foi possível notar um acréscimo no trecho posterior do casarão, executado em um segundo momento, por contar com materiais construtivos distintos, com data de construção desconhecida. Contíguo a este acréscimo, foi possível notar uma expansão, restrita ao pavimento térreo, também construída em data desconhecida. Por fim, notou-se uma edificação anexa, em dois pavimentos, com características do movimento moderno. A Figura 2 demonstra em croqui os diferentes momentos construtivos do imóvel.

Figura 2 - Croqui com os diferentes momentos construtivos do imóvel



Fonte: os autores.

3.2. Panorama Geral das Condições do Imóvel

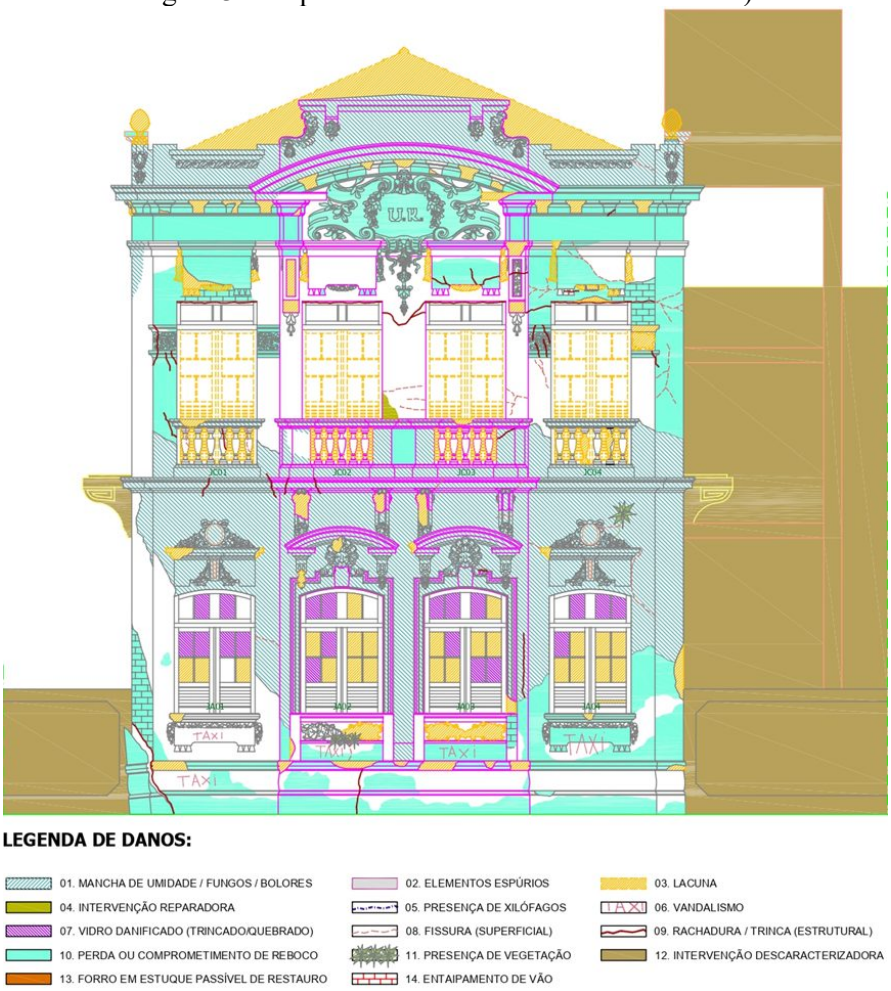
O imóvel estudado apresentou um estado avançado de degradação, configurando uma situação de pré-ruína. Foram observadas perdas significativas de elementos construtivos e ornamentais, bem como intervenções posteriores que comprometeram a integridade da arquitetura original, incluindo acréscimos volumétricos e fechamento de vãos em alvenaria.

Destaca-se a existência de uma área de acréscimo nos fundos do lote, construída com materiais e linguagem incompatíveis com o conjunto original. Por não atender aos critérios de compatibilidade estilística e construtiva, sua exclusão foi indicada no projeto de restauro.

Apesar do quadro de deterioração, a edificação apresentava potencial de recuperação, uma vez que parte de seus elementos arquitetônicos e estruturais permaneceram preservados, possibilitando a reversão das descaracterizações por meio de ações de restauro adequadas. As Figuras 3 a 6

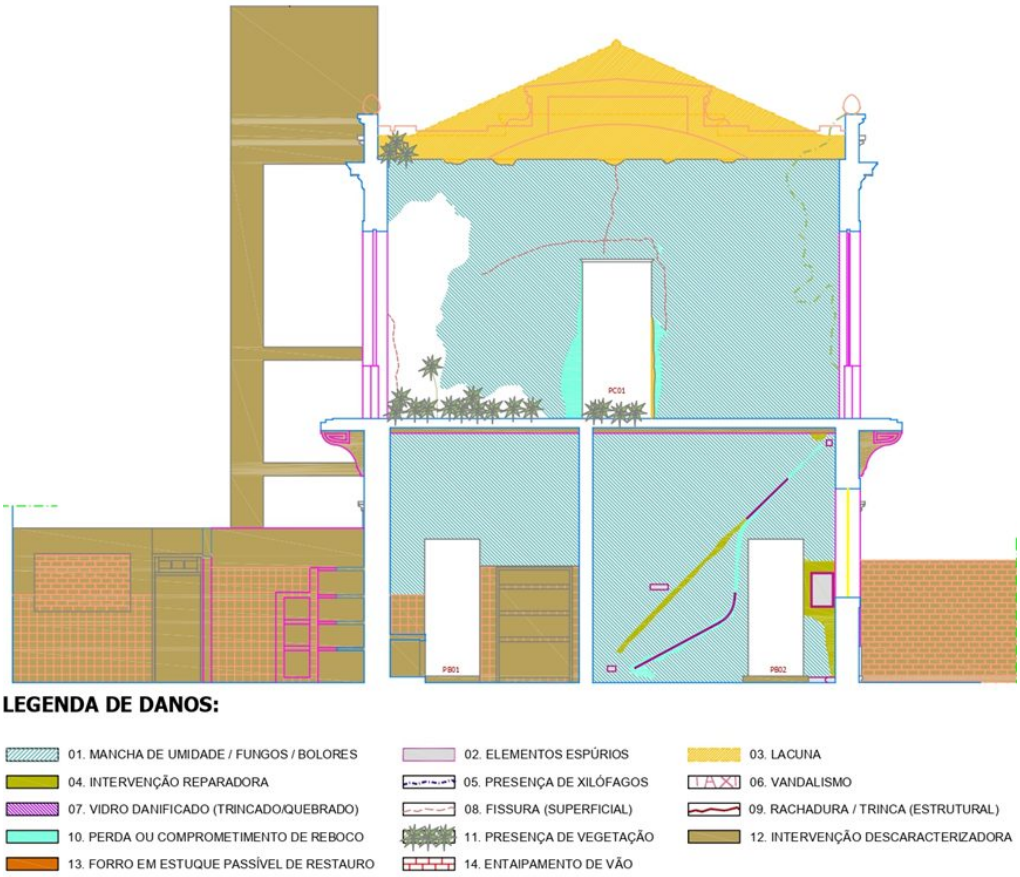
apresentam uma visão geral do mapeamento de danos realizado nas quatro fachadas do imóvel com a identificação das manifestações patológicas encontradas.

Figura 3 - Mapeamento de danos da fachada frontal)



Fonte: Lopes & Valadares, 2017.

Figura 4 - Mapeamento de danos da fachada posterior.



Fonte: Lopes & Valadares, 2017.

Figura 5 - Mapeamento de danos da fachada lateral esquerda.



Fonte: Lopes & Valadares, 2017.

Figura 6 - Mapeamento de danos da fachada lateral direita



Fonte: Lopes & Valadares, 2017.

A partir do mapeamento gráfico, foi possível identificar os principais danos encontrados na edificação estudada, tanto em termos de ocorrência quanto de distribuição nas fachadas. Esses registros forneceram subsídios para o diagnóstico do estado de conservação do imóvel, orientando a classificação das manifestações patológicas mais relevantes e suas possíveis causas.

3.3. Principais Danos Identificados

Com base nas inspeções realizadas, foi possível identificar uma série de manifestações patológicas distribuídas nas fachadas do imóvel. Os danos foram registrados graficamente em plantas e classificados de acordo com sua natureza e impacto sobre a edificação.
Foram considerados danos todos os tipos de lesões, acréscimos e perdas, materiais e estruturais, incluindo fissuras, degradações causadas por umidade, ataque de insetos xilófagos, abatimentos, deformações, destacamento de argamassas, corrosões, entre outros comprometimentos observados na edificação. Na Tabela 1, é possível identificar os principais tipos de danos encontrados, bem como a localização predominante e suas possíveis causas.

Tabela 1 - Principais tipos de danos encontrados no mapeamento de danos do IEP.

Tipo de dano	**Localização predominante**	**Possível causa**
Fissuras e rachaduras	Paredes externas e vergas	Movimentações estruturais e ações térmicas
Perda ou comprometimento do reboco	Fachadas frontal e lateral	Umidade e perda de aderência
Manchas de umidade e bolores	Áreas próximas ao solo	Infiltrações, falta de drenagem e ausência de impermeabilização
Vãos descaracterizados e fechados	Fachadas lateral	Intervenções incompatíveis
Elementos não originais e anexos modernos	Fundos do lote	Ocupação irregular e acréscimos não previstos

Fonte: os autores.

A Tabela 2 apresenta uma síntese do levantamento das manifestações patológicas predominantes nas fachadas do IEP, contribuindo para a caracterização do panorama geral de conservação do imóvel.

Tabela 2 - Levantamento das quantidades de manifestações patológicas predominantes nas fachadas do IEP.

Tipo de dano	**Área total das fachadas (m²)**	**Área dos danos (m²)**	**Porcentagem total (%)**
Fissuras e rachaduras	657,37	7,39	1,12
Perda ou comprometimento do reboco	657,37	30,44	4,63
Manchas de umidade e bolores	657,37	385,42	58,63
Vãos descaracterizados e fechados	657,37	43,58	6,63

Fonte: os autores.

A análise dos resultados disponíveis na Tabela 2 indica o predomínio de manifestações patológicas associadas à umidade e à descaracterização arquitetônica, sinalizando a necessidade de intervenções que priorizem o tratamento das causas de infiltração, a recuperação da integridade dos revestimentos e a reversão de alterações que comprometam a autenticidade do bem. Ressalta-se, ainda, que os dados apresentados na Tabela 2 referem-se ao edifício principal, um casarão de dois pavimentos em estilo eclético, visto que as demais expansões e anexos encontrados no levantamento arquitetônico foram edificados em momentos distintos e descaracterizam o patrimônio construído.

Com base no levantamento das manifestações patológicas e na análise das suas ocorrências ao longo das fachadas do IEP, foram definidas as diretrizes de intervenção voltadas à recuperação e conservação do imóvel.

3.4. Diretrizes Técnicas de Intervenção

A definição das diretrizes de intervenção considerou as características construtivas do imóvel, o estado de conservação identificado nas fachadas e a necessidade de restaurar elementos comprometidos sem alterar a autenticidade do bem. As propostas priorizam ações viáveis do ponto de vista técnico, compatíveis com os sistemas originais e alinhadas às boas práticas de preservação arquitetônica. A Tabela 3 sintetiza as principais diretrizes técnicas propostas, relacionando os elementos comprometidos, as ações recomendadas e os objetivos das intervenções.

Tabela 3 - Propostas de restauros indicadas.

Manifestação patológica encontrada	**Proposta de restauro**	**Objetivo da ação**
Perda de reboco	Recomposição com argamassa de cal e areia, respeitando espessura original	Restabelecer a integridade das superfícies
Fissuras e rachaduras	Abertura, limpeza e selamento com argamassa de cal hidráulica	Impedir infiltrações e garantir estabilidade
Ornatos em estuque danificados	Restauração com argamassa de cal e pó de pedra, moldada	Recuperar a linguagem formal e valor artístico

	manualmente ou aplicada com molde de silicone	
Esquadrias em mau estado ou ausentes	Restauração com peças compatíveis ou confecção em madeira nobre seguindo o modelo original	Reconstituir a leitura original das aberturas
Cobertura inexistente	Recomposição da estrutura em madeira e instalação de telhas cerâmicas tipo francesa	Proteger a edificação e recuperar a volumetria original
Platibanda descaracterizada	Reconstrução com base em elementos remanescentes identificados nas fachadas originais e registros fotográficos	Valorizar a silhueta da fachada e a composição original
Acréscimos espúrios nos fundos	Remoção das estruturas não compatíveis com as originais	Recuperar a volumetria original e eliminar descaracterizações

Fonte: os autores.

Todas as propostas foram acompanhadas de detalhamentos técnicos e representações gráficas que facilitaram a leitura e a execução das soluções sugeridas. A descrição dos serviços baseou-se em manuais e referências especializadas, assegurando conformidade com boas práticas de restauro arquitetônico.

4. DISCUSSÕES E RECOMENDAÇÕES

A preservação dos bens de valor cultural constitui uma ação estratégica para a manutenção da memória coletiva, da identidade urbana e da diversidade arquitetônica nas cidades. Edificações como o imóvel estudado, ao integrarem a paisagem e o patrimônio histórico do Recife, exigem abordagens técnicas que conciliem o respeito às suas características originais com a viabilidade das intervenções de conservação e restauro.

A análise dos resultados obtidos neste estudo permitiu compreender com maior profundidade o estado de conservação do imóvel e identificar de forma sistematizada as principais patologias construtivas que comprometem sua integridade física e estética. O levantamento técnico e o mapeamento de danos contribuíram para a leitura crítica do edifício, possibilitando a distinção entre elementos originais, acréscimos incompatíveis e áreas descaracterizadas.

Com base nessas informações, foi possível organizar diretrizes de intervenção coerentes com as especificidades arquitetônicas e históricas do bem, além de propor ações voltadas à recuperação de elementos relevantes para a manutenção e conservação do imóvel. Esse processo reforça a importância de métodos diagnósticos bem estruturados como ferramenta fundamental para o planejamento de intervenções que respeitem os valores culturais e materiais do patrimônio construído.

A abordagem aplicada neste estudo mostra-se replicável, especialmente em contextos urbanos semelhantes, podendo subsidiar ações de órgãos públicos e iniciativas privadas de reabilitação urbana, ampliando sua aplicabilidade para além do caso específico, contribuindo para a qualificação técnica das ações de conservação. Apesar dos bons resultados proporcionados pelo estudo, houve desafios metodológicos que merecem destaque. Um exemplo foi limitação de um referencial técnico mais rigoroso quanto a fundamentação das propostas de restauros, assegurando

que todas as propostas estejam embasadas em documentos técnicos consolidados, como a Carta de Veneza (1964), as Normas de Intervenção do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), normas técnicas nacionais e internacionais, entre outras referências que oferecem diretrizes claras para intervenções compatíveis, seguras e respeitosas à autenticidade dos bens protegidos. Outro exemplo observado, diz respeito à ausência de procedimentos mais estruturados para o detalhamento técnico das manifestações patológicas identificadas. A inexistência de fichas padronizadas de danos comprometeu a rastreabilidade das informações e dificultou o acompanhamento posterior das ações.

Em síntese, o estudo alcançou seu objetivo ao propor, com base em um diagnóstico técnico detalhado, diretrizes de intervenção coerentes com os valores históricos e arquitetônicos do bem analisado. A sistematização dos danos e a organização das propostas restaurativas contribuem para o fortalecimento de práticas técnicas no âmbito da preservação patrimonial urbana.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, D. E. N.; COSTA, B. A. R.; BERENGUER, R. A.; ESTOLANO, A. M. L.; LIMA, N. B.; OLIVEIRA, R. A. **Influência da realização do mapa de danos na manutenção periódica de edificações.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 2020, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Editora Cubo, 2020. p. 2420–2429.

AMORIM, E. S.; SAMPAIO, G. M.; COSTA, L. V. B.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; MONTEIRO, E. C. B.; SOARES, W. A. **Mapeamento de danos como ferramenta na manutenção do patrimônio arquitetônico: o caso do Mercado Eufrásio Barbosa.** *Conservar Património*, n. 43, p. 63–77, 2023. DOI: https://doi.org/10.14568/cp29216.

BARTHEL, C.; LINS, M.; PESTANA, F. **O papel do mapa de danos na conservação do patrimônio arquitetônico**. Arkeo Consult, 5 fev. 2022. Disponível em: https://arkeoconsult.com.br/o-papel-do-mapa-de-danos-na-conservacao-do-patrimonio-arquitetonico/. Acesso em: 25 jun. 2025.

BO, L.; ABDUL RANI, M. F. **The value of current sense of place in architectural heritage studies: a systematic review**. *Buildings*, v. 15, n. 6, p. 903, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings15060903.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 16 jun. 2025.

CASTRIOTA, L. B.; SOUSA, V. **Construindo um projeto de restauro: os desafios metodológicos da conservação baseada em valores**. *Risco: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo*, v. 22, n. 1, 2024. DOI: https://doi.org/10.11606/1984-4506.risco.2024.220923.

ELYASI, S.; YAMACLI, R. **Architectural sustainability with cultural heritage values. *Cultural Heritage and Science***, v. 4, n. 2, p. 55–61, 2023. DOI: https://doi.org/10.58598/cuhes.1282179.

FIGUEIREDO, V. G. B. **Patrimônio cultural, cidade, sustentabilidade: qual o papel da legislação urbanística na preservação e no desenvolvimento?** *Ambiente & Sociedade*, v. 17, n. 2, p. 91–110, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000200007.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Patrimônio material – Superintendência no Pernambuco**. Disponível em: https://www.gov.br/iphan/pt-br/superintendencias/pernambuco/patrimonio-material. Acesso em: 25 jun. 2025.

LIMA, A. V. de; LACERDA, N.; ANJOS, K. **Ressemantização das áreas centrais das cidades brasileiras e mercado imobiliário habitacional: o caso recifense**. *Cadernos Metrópole*, v. 22, n. 49, p. 11–32, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4911.

LOPES, R.; VALADARES, P. **Projeto arquitetônico de restauro e reforma com mudança de uso: Imóvel Especial de Preservação – IEP nº 23, Av. Portugal, nº 89, Paissandu, Recife/PE**. Relatório técnico. Recife: Lopes & Valadares Arquitetura e Patrimônio LTDA., 2017. v. 2.

NASCIMENTO, T. R. S.; RODRIGUES, S. R. S.; BARRETO, L. M.; MONTEIRO, E. C. B.; SOARES, W. A. **Mapa de danos de fachadas de edificações históricas: estudo de caso da Igreja da Madre de Deus no Recife-PE**. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 20, n. 2, 2024. DOI: https://doi.org/10.17271/1980082720220245292.

OLIVEIRA, T. D. de; MUSSI, A. Q.; ENGERROFF, F. Z. **A preservação do patrimônio arquitetônico e suas relações com o planejamento e desenvolvimento urbano**. *Revista Missioneira*, v. 22, n. 1, p. 23–34, jan./jun. 2020. DOI: https://doi.org/10.31512/missioneira.v31i1.204.

RAMOS, J. D. S.; GROETELAARS, N. J.; SANTOS, L. C. A. N. **Métodos e ferramentas para mapeamento de danos de edificações históricas em BIM: uma revisão sistemática da literatura**. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 19, n. 3, p. 69–91, 2024. DOI: https://doi.org/10.11606/gtp.v19i3.222546.

RECIFE. Lei nº 16.284, de 22 de janeiro de 1997. **Recife: Prefeitura do Recife, 1997**. Disponível em: http://www.legiscidade.recife.pe.gov.br/lei/16284/. Acesso em: 16 jun. 2025.

RECIFE. Lei Complementar nº 2, de 2021**. Institui o Plano Diretor do Município do Recife e revoga a Lei Municipal nº 17.511, de 29 de dezembro de 2008**. Recife: Prefeitura do Recife, 2021. Disponível em: https://leismunicipais.com.br. Acesso em: 17 jun. 2025.

ROSSITTI, M.; OTERI, A. M.; TORRIERI, F. **The social value of built heritage: an interdisciplinary discourse**. *Built Heritage*, v. 9, n. 5, 2025. DOI: https://doi.org/10.1186/s43238-025-00173-4.

SILVA, F. B. L. da; CUPERSCHMID, A. R. M. **HBIM e mapa de danos: uma revisão sistemática da literatura**. *PARC – Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 13, 2022. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v13i00.8663653.

VIDAL, A. C.; MÁXIMO, R. **Manifestações patológicas em edificações históricas: estudo de caso no Sítio Histórico do Patu, Ceará**. *Aracê*, v. 7, n. 3, p. 13105–13121, 2025. DOI: https://doi.org/10.56238/arev7n3-172.

ZHAO, Y.; LIU, J.; ZHENG, Y. **Authenticity, integrity, and cultural–ecological adaptability in heritage conservation: a practical framework for historic urban areas—A case study of Yicheng Ancient City, China**. *Buildings*, v. 15, n. 8, p. 1304, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings15081304.

CAPÍTULO 99 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/kkcrge96
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/s7fr3248

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES

Renata de Oliveira Marinho[1]*, Paulo Lucas da Cruz Silva[2]; Laryssa de Sousa Carneiro Nino[3]; Rozilda Silva Cardoso[4] e Otávio Alexandre De Araújo[5]

[1] Docente de Engenharia Civil, Faculdade Única de Ipatinga, Ipatinga, Brasil
[2] Graduando de Engenharia Civil, Faculdade Única de Ipatinga, Ipatinga, Brasil
[3] Graduanda de Engenharia Civil, Centro Universitário de Patos, Patos, Brasil
[4] Graduanda de Engenharia Civil, Faculdade Única de Ipatinga, Ipatinga, Brasil
[5] Graduando de Engenharia Civil, Faculdade Única de Ipatinga, Ipatinga, Brasil

RESUMO

A identificação e o registro de manifestações patológicas em edificações são atividades essenciais para garantir o desempenho, a durabilidade e a segurança das construções ao longo de sua vida útil. Entretanto, em muitos contextos profissionais, o processo de inspeção ainda é realizado por meio de registros manuais e armazenamento não estruturado de fotografias, o que pode dificultar a organização das informações e a elaboração de relatórios técnicos. Nesse contexto, o presente estudo apresenta o desenvolvimento do aplicativo móvel EdifiScan, uma ferramenta digital voltada à otimização do processo de inspeção e documentação de patologias em edificações. O aplicativo foi desenvolvido por meio da plataforma Lovable, baseada em inteligência artificial e no paradigma de desenvolvimento low-code, permitindo a criação de funcionalidades a partir de comandos em linguagem natural. A metodologia adotada baseou-se em uma abordagem qualitativa atrelada a pesquisa aplicada, no qual o aplicativo foi construído de forma iterativa, incorporando funcionalidades como captura de imagens, formulários estruturados para diagnóstico técnico, classificação por níveis de inspeção e aplicação da matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) para priorização de intervenções. Os resultados indicam que o uso de plataformas low-code pode acelerar o desenvolvimento de ferramentas digitais aplicadas à engenharia civil, contribuindo para a digitalização das inspeções prediais, maior organização das informações técnicas e apoio à tomada de decisões relacionadas à manutenção de edificações.
Palavras-chave: Patologia das construções; Inspeção predial; Aplicativos móveis; Manutenção de edificações.

ABSTRACT

The identification and recording of pathological manifestations in buildings are essential activities to guarantee the performance, durability, and safety of constructions throughout their lifespan. However, in many professional contexts, the inspection process is still carried out through manual records and unstructured storage of photographs, which can hinder the organization of information and the preparation of technical reports. In this context, this study presents the development of the EdifiScan mobile application, a digital tool aimed at optimizing the inspection and documentation process of pathologies in buildings. The application was developed using the Lovable platform, based on artificial intelligence and the low-code development paradigm, allowing the creation of functionalities from commands in

natural language. The methodology adopted was based on a qualitative approach linked to applied research, in which the application was built iteratively, incorporating functionalities such as image capture, structured forms for technical diagnosis, classification by inspection levels, and application of the GUT matrix (Gravity, Urgency, and Trend) for prioritizing interventions. The results indicate that the use of low-code platforms can accelerate the development of digital tools applied to civil engineering, contributing to the digitization of building inspections, greater organization of technical information, and support for decision-making related to building maintenance.
Keywords: Building pathology; Building inspection; Mobile applications; Building maintenance.

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias digitais têm promovido transformações significativas em diversos setores, incluindo a construção civil, especialmente no que se refere à coleta, organização e análise de dados técnicos. A incorporação de ferramentas digitais tem possibilitado a otimização de processos tradicionalmente realizados de forma manual, contribuindo para maior eficiência operacional e qualidade das informações (Gravina et al., 2017).

No contexto da engenharia civil, a inspeção predial desempenha papel fundamental na identificação de manifestações patológicas, as quais podem comprometer o desempenho, a durabilidade e a segurança das edificações ao longo de sua vida útil (Souza; Ripper, 1998; Thomaz, 1989). Essas manifestações incluem fissuras, infiltrações, corrosão de armaduras e degradação de materiais, podendo estar associadas a falhas de projeto, execução ou ausência de manutenção adequada.

De acordo com a ABNT NBR 16747:2020, a inspeção predial consiste em um processo sistemático de avaliação das condições técnicas de uma edificação, envolvendo coleta de dados, análise visual e elaboração de relatórios técnicos que subsidiem decisões de manutenção e intervenção.

Apesar da importância desse processo, observa-se que, na prática profissional, a coleta e o registro de informações ainda são frequentemente realizados de forma manual, por meio de anotações e registros fotográficos não estruturados (Helene; Pereira, 2007). Essa abordagem pode comprometer a rastreabilidade das informações, aumentar o tempo de processamento e dificultar a elaboração de relatórios técnicos consistentes.

Nesse contexto, surge a necessidade de desenvolvimento de ferramentas digitais que promovam maior padronização, organização e eficiência no processo de inspeção predial. Embora existam avanços na digitalização de processos na construção civil, ainda há carência de soluções integradas que combinem: coleta estruturada de dados em campo, apoio à tomada de decisão e priorização técnica de intervenções com base em critérios objetivos.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo desenvolver e analisar um aplicativo móvel, denominado EdifiScan, voltado à inspeção e diagnóstico preliminar de manifestações patológicas, incorporando metodologias de análise técnica e priorização de intervenções.

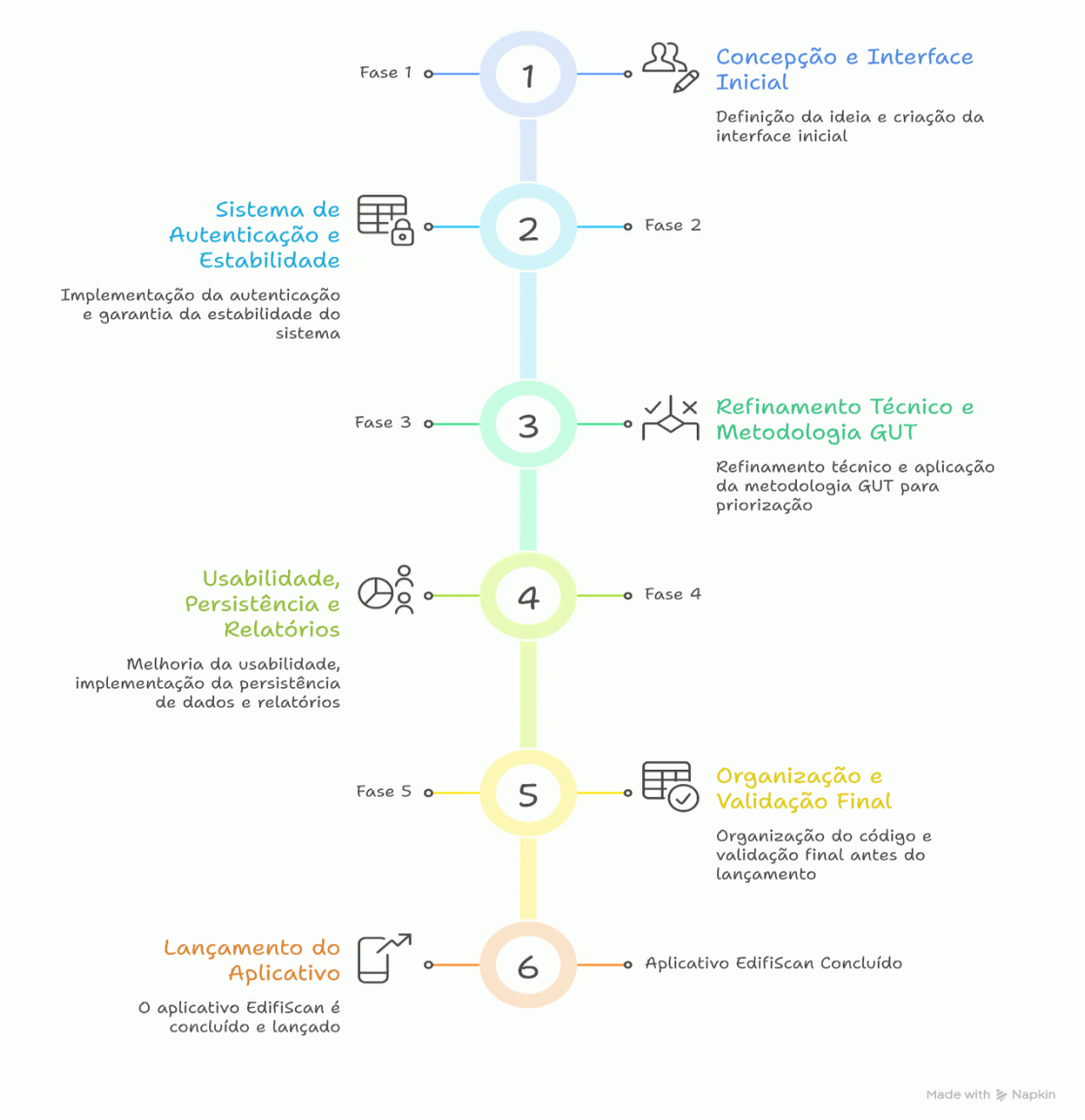
2 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e natureza exploratória, cujo objetivo consistiu no desenvolvimento e na avaliação funcional de um aplicativo móvel voltado à inspeção e ao diagnóstico preliminar de manifestações patológicas em edificações.

A investigação foi conduzida por meio de um estudo de caso tecnológico, no qual se buscou estruturar uma solução digital capaz de integrar, em um único ambiente, as etapas de registro, organização e análise preliminar de dados provenientes de inspeções prediais. Para tanto, a concepção do sistema fundamentou-se nas diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 16747:2020, bem como em referenciais clássicos da patologia das construções, especialmente no que se refere aos conceitos de diagnóstico, prognóstico, terapia e profilaxia.

O desenvolvimento do aplicativo seguiu um fluxo metodológico estruturado em fases sequenciais e interdependentes, conforme ilustrado na Figura 1, a qual sintetiza o processo adotado desde a concepção inicial até a validação funcional do sistema.

Figura 1 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento do aplicativo EdifiScan.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A primeira fase correspondeu à concepção do aplicativo e ao levantamento de requisitos, etapa na qual foram definidos os elementos essenciais a serem contemplados no sistema, considerando as necessidades operacionais do processo de inspeção predial. Nessa etapa, estabeleceu-se a estrutura básica do aplicativo, incluindo os módulos de cadastro de obras, registro de manifestações patológicas, inserção de imagens e preenchimento de formulários técnicos estruturados.

Na segunda fase, realizou-se o desenvolvimento do aplicativo por meio da plataforma Lovable, baseada em inteligência artificial e no paradigma de desenvolvimento *low-code*. Essa etapa envolveu a implementação progressiva das funcionalidades por meio de comandos em linguagem natural, permitindo a construção do sistema de forma iterativa. A cada ciclo de desenvolvimento, foram realizados ajustes na interface e na organização dos dados, com o objetivo de aprimorar a usabilidade e a coerência técnica do aplicativo.

A terceira fase consistiu no refinamento dos formulários técnicos e na estruturação do modelo de inspeção, contemplando campos destinados ao registro do diagnóstico, prognóstico, terapia e profilaxia das manifestações patológicas. Essa etapa foi fundamental para garantir que o aplicativo não se limitasse ao registro descritivo das anomalias, mas incorporasse uma abordagem técnica compatível com os procedimentos adotados na engenharia diagnóstica.
Na quarta fase, foi incorporada ao sistema a metodologia de priorização de intervenções por meio da matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), (Quadro 1). A aplicação dessa metodologia baseou-se na avaliação de três critérios: gravidade, associada ao impacto da patologia sobre a segurança, o desempenho e a durabilidade da edificação; urgência, relacionada ao prazo necessário para intervenção; e tendência, referente à probabilidade de agravamento do problema ao longo do tempo. Para cada critério, adotou-se uma escala ordinal de 1 a 5, sendo o índice de prioridade obtido pelo produto entre os três fatores (IP = G × U × T). A incorporação dessa metodologia teve como finalidade sistematizar o processo de tomada de decisão e reduzir a subjetividade na priorização das intervenções.

Quadro 2 – Pontuação dos campos gravidade, urgência e tendencia.

Pontuação	**Gravidade**	**Urgência**	**Tendência**
5	Extremamente grave (dano gravíssimo)	Imediatamente (está ocorrendo) – ação imediata	Piora muito ou vai piorar rapidamente
4	Muito grave (grande dano)	Curto prazo (uma semana) – com alguma urgência	Aumenta ou vai piorar em pouco tempo
3	Grave (dano regular)	Prazo médio (uma quinzena) – o mais cedo possível	Permanece ou vai piorar em médio prazo
2	Pouco grave (dano leve)	Longo prazo (um mês) – pode aguardar	Reduz-se ligeiramente ou vai piorar em longo prazo
1	Sem gravidade (dano mínimo)	Longuíssimo prazo (dois meses ou mais) – não há pressa	Desaparece ou não vai piorar, podendo até melhorar

Fonte: Sotille (2014). Adaptado pelo autor.

A quinta e última fase correspondeu à validação funcional do aplicativo, realizada por meio de simulações de cadastro de manifestações patológicas. Nessa etapa, buscou-se verificar o funcionamento do sistema em termos de fluxo de uso, consistência dos dados inseridos, cálculo automático da matriz GUT e geração de relatórios técnicos. As simulações permitiram avaliar a integração entre os módulos desenvolvidos, bem como a coerência do aplicativo em relação às etapas típicas de uma inspeção predial.

Ressalta-se que, conforme apresentado na Figura 1, o processo metodológico adotado não ocorreu de forma estritamente linear, mas sim iterativa, com retroalimentação entre as fases de desenvolvimento e refinamento. Essa característica permitiu a incorporação de melhorias contínuas ao longo da construção do aplicativo, contribuindo para o aprimoramento das funcionalidades implementadas.

Por fim, destaca-se que a validação realizada possui caráter preliminar e funcional, não contemplando aplicação em campo ou análise quantitativa de desempenho, o que delimita o escopo dos resultados apresentados neste estudo.

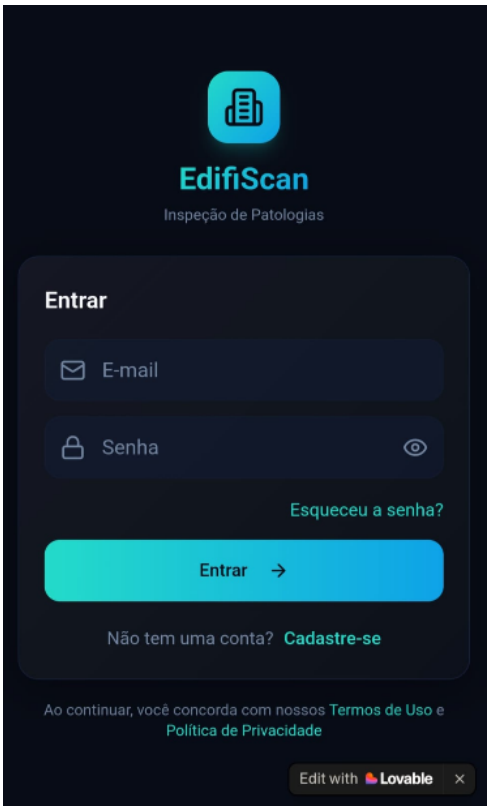
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste estudo são apresentados e discutidos nos subtópicos a seguir, de forma estruturada e analítica, com base na avaliação funcional do aplicativo EdifiScan a partir de simulações de uso. A análise concentra-se na verificação da capacidade do sistema em estruturar o processo de inspeção predial, organizar as informações técnicas e apoiar a priorização de intervenções.

3.1 Desenvolvimento do Aplicativo na Plataforma Lovable

O processo de desenvolvimento do aplicativo, realizado por meio da plataforma Lovable, evidenciou a viabilidade de utilização de ferramentas baseadas em inteligência artificial para a criação de aplicações voltadas à engenharia civil. Conforme apresentado nas Figuras 2 e 3, a plataforma possibilitou a implementação progressiva das funcionalidades por meio de comandos em linguagem natural, permitindo a construção iterativa do sistema.

Figura 2 – Interface de acesso do aplicativo na plataforma Lovable.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3 – Interface de desenvolvimento do aplicativo na plataforma Lovable.



Fonte: Elaborado pelos autores.

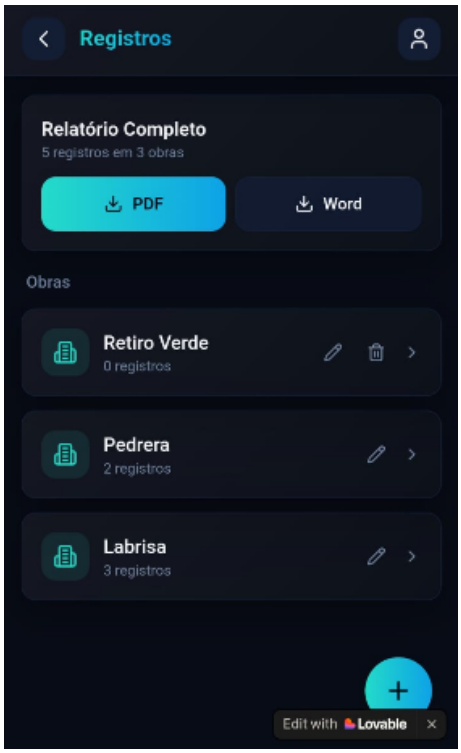
Durante esse processo, foram observados sucessivos refinamentos na estrutura do aplicativo, especialmente na organização dos dados e na definição dos campos técnicos. Esses ajustes contribuíram para adequar o sistema às demandas específicas da inspeção predial, permitindo a incorporação de elementos técnicos essenciais, como diagnóstico, prognóstico e recomendações de intervenção.

Embora tenha sido possível desenvolver e ajustar o sistema de forma contínua, ressalta-se que o presente estudo não realizou medições quantitativas relacionadas ao tempo de desenvolvimento ou comparação com métodos tradicionais de programação, limitando a análise ao desempenho funcional do aplicativo.

3.2 Interface do Aplicativo e Funcionalidades

A interface do aplicativo, apresentada na Figura 4, foi estruturada de modo a permitir o registro sistematizado das manifestações patológicas, integrando informações visuais e descritivas em um mesmo ambiente. O sistema possibilita a inserção de imagens associadas às anomalias, bem como o preenchimento de formulários técnicos contendo campos relacionados ao diagnóstico, prognóstico, terapia e profilaxia.

Figura 4 – Tela de registro de patologias no aplicativo EdifiScan.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A adoção dessa estrutura promove uma abordagem mais completa do registro das patologias, incentivando o usuário a não apenas descrever a manifestação observada, mas também a realizar uma análise técnica preliminar. Esse aspecto contribui para a padronização das informações coletadas, favorecendo maior consistência nos registros.

A Figura 5 apresenta a interface de organização dos registros por obra, evidenciando a capacidade do sistema de agrupar as manifestações patológicas de uma mesma edificação. Nas simulações realizadas, verificou-se que o aplicativo mantém a integridade dos dados inseridos, preservando a associação entre imagens, descrições técnicas e classificações atribuídas.

Figura 5 – Interface dos registros salvos no aplicativo EdifiScan.



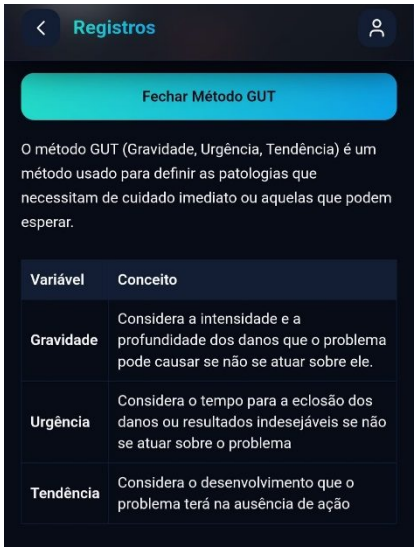
Fonte: Elaborado pelos autores.

Essa funcionalidade demonstra potencial para melhorar a rastreabilidade das informações, ainda que não tenham sido realizadas análises comparativas com métodos tradicionais de registro.

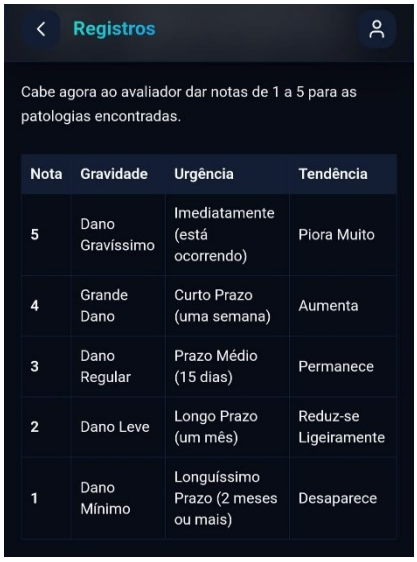
3.3 Aplicação da Matriz GUT no Aplicativo

A incorporação da matriz GUT ao aplicativo constitui um dos principais resultados deste estudo, ao introduzir um mecanismo estruturado para priorização de intervenções no contexto da inspeção predial. Conforme ilustrado na Figura 6, o sistema disponibiliza uma interface para atribuição de valores aos critérios de gravidade, urgência e tendência, com base em uma escala previamente definida.

Figura 6 – Interface da interação de uso da Matriz GUT.



(a) Apresentação dos conceitos que englobam a Matriz para análise.



(b) Apresentação da pontuação a ser considerada nas avaliações

Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir das simulações realizadas, observou-se que o aplicativo realiza corretamente o cálculo do índice de prioridade (IP), obtido pelo produto entre os três critérios avaliados. Esse resultado permite classificar as manifestações patológicas conforme seu nível de criticidade, possibilitando a ordenação das intervenções de forma sistematizada.

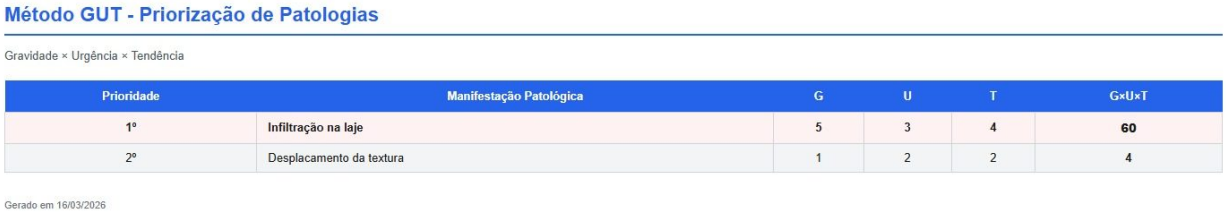
Do ponto de vista analítico, a utilização da matriz GUT no aplicativo representa um avanço em relação à priorização baseada exclusivamente em julgamento intuitivo, uma vez que estabelece critérios explícitos de avaliação. Entretanto, verifica-se que a atribuição dos valores permanece dependente da interpretação do usuário, o que implica que a consistência dos resultados está diretamente associada ao conhecimento técnico do profissional responsável pela inspeção.

Assim, o aplicativo atua como ferramenta de apoio à decisão, oferecendo uma estrutura de análise que reduz a subjetividade, mas não elimina a necessidade de avaliação técnica especializada.

3.4 Geração Automática de Relatórios Técnicos

A funcionalidade de geração automática de relatórios técnicos, apresentada nas Figuras 7 e 8, permitiu a consolidação das informações registradas no aplicativo em um formato estruturado. Os relatórios gerados incluem descrição das manifestações patológicas, imagens associadas e classificação de prioridade obtida pela matriz GUT.

Figura 7 – Geração do relatório da Matriz GUT.



Método GUT - Priorização de Patologias

Gravidade × Urgência × Tendência

Prioridade	Manifestação Patológica	G	U	T	G×U×T
1º	Infiltração na laje	5	3	4	**60**
2º	Desplacamento da textura	1	2	2	**4**

Gerado em 16/03/2026

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 8 – Geração do relatório da Manifestação Patológica.



16/03/2026, 21:16 Relatório EdifiScan

1. Desplacamento da textura

Nível de Inspeção	Nível 1
Profissional Responsável	Paulo Lucas da Cruz Silva
Data da Inspeção	16/03/2026
Local da Obra	Itaúna

Diagnóstico (análise/causa)

A parede em questão está exposta a elevados níveis de umidade e radiação solar, uma vez que não possui proteção de telhado. Essa exposição contínua pode ter provocado pequenas trincas na textura, culminando em seu desprendimento.

Prognóstico (evolução do problema)

Se continuar assim, o desplacamento irá aumentar, aumentando a exposição da parede de reboco.

Terapia (reparo/correção)

1-Remover a textura descolada e lixar a parede; 2-Limpeza da superfície da parede e retirar todas as partículas soltas; 3-Aplicar o fundo preparador (selador); 4-Repintar a superfície.

about:blank 2/3

16/03/2026, 21:16 Relatório EdifiScan

Profilaxia (prevenção)

Cobrir a área com telhado.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Durante as simulações realizadas, verificou-se que o sistema foi capaz de reunir automaticamente os dados inseridos, organizando-os de forma padronizada, sem necessidade de reorganização

manual das informações. Esse aspecto evidencia a capacidade do aplicativo de sistematizar a documentação técnica das inspeções.

Adicionalmente, observa-se que a padronização dos relatórios pode contribuir para maior clareza na comunicação dos resultados da inspeção, uma vez que as informações são apresentadas de forma estruturada e consistente. No entanto, não foram realizados estudos comparativos que permitam mensurar a redução de tempo ou o aumento de produtividade em relação aos métodos tradicionais de elaboração de relatórios.

De modo geral, observou-se que o aplicativo permite a sistematização das etapas de inspeção predial, reunindo em um único ambiente digital atividades que, na prática convencional, são frequentemente realizadas de forma fragmentada. A integração entre registro, análise e geração de relatórios evidencia o potencial da ferramenta para apoiar a organização das informações técnicas e a priorização de intervenções.

Todavia, ressalta-se que os resultados apresentados possuem caráter qualitativo e funcional, uma vez que foram obtidos a partir de simulações de uso. Dessa forma, não é possível, nesta etapa da pesquisa, estabelecer inferências quantitativas acerca de ganhos de eficiência operacional. A validação em campo e a realização de estudos comparativos constituem, portanto, etapas futuras necessárias para a consolidação do desempenho do aplicativo desenvolvido.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento do aplicativo EdifiScan, uma ferramenta digital voltada à inspeção e documentação de patologias em edificações.

A utilização da plataforma Lovable permitiu a criação do aplicativo por meio de um processo iterativo baseado em comandos em linguagem natural, demonstrando o potencial das tecnologias baseadas em inteligência artificial e no paradigma low-code para o desenvolvimento de soluções voltadas à engenharia civil.

O aplicativo desenvolvido apresenta diversas funcionalidades que contribuem para a melhoria do processo de inspeção predial, incluindo registro estruturado de patologias, captura e organização de imagens, aplicação da matriz GUT e geração automática de relatórios técnicos.

Os resultados obtidos indicam que a digitalização das inspeções prediais pode contribuir significativamente para aumentar a eficiência das atividades de diagnóstico e manutenção de edificações, além de melhorar a organização e a rastreabilidade das informações técnicas.

Além disso, o aplicativo ainda irá receber melhorias na área de captura, edição de documentos e geração dos relatórios, visando aprimorar ainda mais o resultado final.

Dessa forma, conclui-se que ferramentas digitais como o EdifiScan possuem potencial para apoiar profissionais da construção civil na gestão de patologias construtivas, contribuindo para maior qualidade, segurança e durabilidade das edificações.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 16747:2020 – **Inspeção predial: diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

GRAVINA, D. B. L. et al. O uso da tecnologia digital na construção do ensino-aprendizagem em saúde. Lecturas: Educación Física y Deportes, Revista Digital, v. 22, n. 230, 2017.

Helene, Paulo; Pereira, Fábio. Manual de reabilitação de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 2007.

ISO, International Organization for Standardization. ISO 15686: **Service life planning**. Geneva, 2017.

Pinto, Eduardo. **Patologia das construções**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

SOTILLE, Mauro Afonso. A ferramenta GUT - Gravidade, Urgência e Tendência. 2014. Disponível em: .

Souza, Vicente Custódio de; Ripper, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

Thomaz, Ércio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: PINI, 1989.

Vieira, Gerson. **Inspeção predial: metodologia e aplicações**. São Paulo: PINI, 2016.

CAPÍTULO 100 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/6n1ja493
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/v3akpv34

ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO EM LAJE DE COBERTURA: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL VERTICAL

Adriana Augustin Silveira[1]*, Natália Brugnera[2], Miriam de Moura Rotilli[3];
* adrianasilveira63@gmail.com

[1] Dra. em Construção Civil, UFRGS, Engenheira Civil, Solucione Engenharia e Consultoria, Passo Fundo, RS, Brasil.
[2] Especialista em Tecnologia da Impermeabilização, IDD, Engenheira Civil, Solucione Engenharia e Consultoria, Passo Fundo, RS, Brasil.
[3] Especialista em Tecnologia de Fachadas e Revestimentos, IDD, Engenheira Civil, Solucione Engenharia e Consultoria, Passo Fundo, RS, Brasil

RESUMO

A impermeabilização de lajes de cobertura constitui um dos sistemas construtivos mais importantes para garantir a estanqueidade e a durabilidade das edificações. Este trabalho apresenta o estudo de caso de uma edificação residencial de múltiplos pavimentos na qual foram identificadas manifestações patológicas nos apartamentos localizados abaixo da laje de cobertura. A investigação técnica foi realizada por meio de vistoria visual, registro fotográfico e abertura pontual do revestimento do piso para identificação do sistema existente. As manifestações patológicas identificadas nos apartamentos como manchas de mofo, descascamento e estufamento da tinta são características da presença de umidade. Esta umidade constante deve-se a falhas identificadas no sistema de impermeabilização da laje de cobertura tais como deterioração da manta asfáltica e falhas e trincas no revestimento cerâmico executado no local. A análise indicou perda de desempenho do sistema de impermeabilização, favorecendo o ingresso de água da chuva para pavimentos inferiores. O estudo apresenta os sintomas identificados, os mecanismos associados à degradação do sistema e apresenta recomendações técnicas para recuperação da impermeabilização.

Palavras-chave: impermeabilização; laje de cobertura; infiltração; patologia das construções.

ABSTRACT

The waterproofing of roof slabs is one of the most important building systems for ensuring the watertightness and durability of structures. This paper presents a case study of a multi-story residential building in which pathological manifestations were identified in the apartments located below the roof slab. The technical investigation was carried out through visual inspection, photographic documentation, and localized removal of the floor finish to identify the existing

waterproofing system. The pathological manifestations observed in the apartments—such as mold stains, paint peeling, and blistering—are indicative of the presence of moisture. This persistent moisture is associated with deficiencies identified in the roof slab waterproofing system, including deterioration of the asphalt membrane and defects and cracking in the ceramic floor finish installed on site. The analysis indicated a loss of performance of the waterproofing system, allowing rainwater infiltration into the lower floors. The study presents the identified symptoms, the mechanisms associated with system degradation and provides technical recommendations for the rehabilitation of the waterproofing system.

Keywords: Waterproofing, Water infiltration, Building pathology.

1. INTRODUÇÃO

A impermeabilização constitui uma etapa fundamental durante a fase de construção de uma edificação. Entretanto, observa-se que esse sistema nem sempre recebe a devida atenção durante as etapas de projeto e execução, seja por restrições orçamentárias, seja pela ausência de planejamento adequado ou de mão de obra especializada. Como consequência, diversas construções apresentam falhas que podem resultar no surgimento de manifestações patológicas associadas à ação da água.

No caso das coberturas, a impermeabilização desempenha papel essencial na proteção das edificações contra a ação da água da chuva. Falhas de projeto, execução inadequada ou degradação dos materiais podem comprometer o desempenho do sistema impermeabilizante, favorecendo o ingresso de água e o surgimento de infiltrações.

Considerando o tema abordado neste artigo, destacam-se três aspectos relevantes relacionados às manifestações patológicas construtivas associadas à ação da água. O primeiro refere-se ao fato de que as edificações estão sujeitas a diversas transformações ao longo do tempo, principalmente em decorrência das condições ambientais, como variações de umidade relativa do ar, temperatura, ação dos ventos, precipitações e incidência de radiação solar. Tais fatores evidenciam a necessidade de que as construções sejam devidamente protegidas contra a ação da água e seus efeitos associados (SOUZA, 2020).

O segundo aspecto está relacionado à elevada incidência de manifestações patológicas associadas à umidade na construção civil. Segundo Souza (2020), estima-se que até 60% das manifestações patológicas observadas em edificações em fase de uso estejam relacionadas à presença de umidade. Essas ocorrências podem acarretar prejuízos econômicos, funcionais e estéticos, além de comprometer o desempenho das edificações e demandar intervenções corretivas de elevado custo.

O terceiro aspecto refere-se à ausência do projeto executivo de impermeabilização, o qual deveria ser desenvolvido de forma integrada aos demais projetos do empreendimento, como os projetos arquitetônico, estrutural, hidrossanitário e elétrico. Além disso, devem ser consideradas as características climáticas da região e as especificidades das áreas a serem protegidas, uma vez que a correta seleção do sistema impermeabilizante depende diretamente desses fatores.

Nesse contexto, a NBR 9574 (ABNT, 2008) – Execução de impermeabilização e a NBR 9575 (ABNT, 2010) – Impermeabilização — Seleção e projeto estabelecem que o projeto de

impermeabilização deve contemplar a definição do sistema, as condições de exposição da edificação, os detalhamentos construtivos e a compatibilização com os demais sistemas da obra.

Diante do cenário exposto, o presente trabalho tem como objetivo analisar as manifestações patológicas associadas à infiltração em uma cobertura impermeabilizada com manta asfáltica, por meio de um estudo de caso, buscando identificar as principais falhas de execução e de detalhamento que contribuíram para a perda de desempenho do sistema de impermeabilização.

2. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO VISTORIADA

A edificação vistoriada trata-se de um edifício residencial de múltiplos pavimentos, localizado na cidade de Passo Fundo, RS. O imóvel é constituído por 12 pavimentos, sendo que o pavimento imediatamente abaixo da cobertura possui três apartamentos que totalizam uma área de 644,22 m², compondo parte das 24 unidades habitacionais totais distribuídas a uma razão de três apartamentos por andar. O sistema construtivo é em concreto armado (pilares, vigas e lajes) com vedações verticais em alvenaria de blocos cerâmicos, apresentando revestimento externo composto por argamassa com acabamento em pintura e detalhes em pastilha ou placa cerâmica.

A inspeção concentrou-se nas áreas indicadas pela administração condominial, em razão da recorrência de manifestações patológicas observadas ao longo do tempo em pontos específicos dos apartamentos situados imediatamente abaixo da laje de cobertura da edificação, mostrada na Figura 1. Os principais sintomas identificados foram estufamento, descascamento da tinta e manchas de bolor no revestimento interno especialmente no forro em gesso e laje dos apartamentos imediatamente abaixo da cobertura, principalmente no quarto do casal, no banheiro e das sacadas voltadas para a fachada, conforme mostrado na Figura 2.



Figura 1 - Visão geral da área vistoriada. Fonte: as autoras.



Figura 2 – Estufamento e descascamento da tinta no forro em gesso e manchas de mofo na laje do apartamento abaixo da cobertura. Fonte: as autoras.

3. VISTORIA E PROCEDIMENTOS

A investigação técnica consistiu na realização de vistoria visual detalhada da área da cobertura, complementada por registro fotográfico sistemático das manifestações patológicas observadas e pela execução de aberturas pontuais no revestimento de piso, com a finalidade de identificar e caracterizar o sistema de impermeabilização existente.

Para a adequada identificação e avaliação das causas associadas aos sintomas verificados, foram desenvolvidas as seguintes atividades técnicas: realização de inspeção visual nas áreas internas e externas da edificação; documentação fotográfica das anomalias constatadas; execução de ensaios de percussão no revestimento de piso, visando à verificação das condições de aderência; e abertura de janelas de inspeção para análise das camadas constituintes do sistema de impermeabilização.

A vistoria foi realizada inicialmente nas áreas internas dos apartamentos localizados imediatamente abaixo da cobertura, que apresentaram manchas de umidade, manchas de bolor na laje, estufamento e descascamento da tinta no forro em gesso.

Durante a vistoria interna foram realizadas análise termográfica com o objetivo de identificar os pontos com maior presença de umidade. Posteriormente procedeu-se a vistoria externa na laje de cobertura, para abertura de janelas de inspeção e verificação da presença de um sistema de impermeabilização.

A termografia basicamente é a percepção da temperatura superficial de um corpo pelo mecanismo de transferência de calor (radiação), uma vez que todo corpo com temperatura acima do Zero Absoluto emite radiação térmica. Pode-se observar a diferença de temperatura através do gradiente de cores obtido nas imagens. As regiões mais frias, em tons de azul ou lilás indicam presença de

umidade. Com a determinação da temperatura superficial em diferentes pontos, é possível detectar a presença de umidade antes de aparecer a mancha visível, normalmente detectada pelo usuário. Para a realização deste ensaio foi utilizada uma câmera FLIR C5 com um gerador de imagens térmicas de 160 x 120 (19.200 pixels).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na vistoria da laje de cobertura as seguintes anomalias foram constatadas: fissuras mapeadas na argamassa de revestimento da platibanda, descolamento e quebra das placas cerâmicas do piso, ausência de argamassa de rejuntamento entre as placas cerâmicas, entupimento de ralos e acúmulo de sujeira, resíduos de um produto escuro (primer) conforme observa-se na Figura 3 até a Figura 6. Nos apartamentos vistoriados abaixo dessa área identificou-se, através da termografia, a presença de umidade em diversos pontos da superfície, conforme pode ser visto na Figura 4.

Os aspectos observados indicam ausência de atividades de manutenção periódica na área vistoriada. Os fatores observados na vistoria indicam a falta de atividades de manutenção como por exemplo o acúmulo de resíduos sobre as placas (sujidade), entupimento dos ralos sifonados e placas que revestem o topo da platibanda soltas, ganchos de ancoragem em processo inicial de corrosão.



Figura 3 – Estufamento e descolamento das placas cerâmicas. Fonte: as autoras.

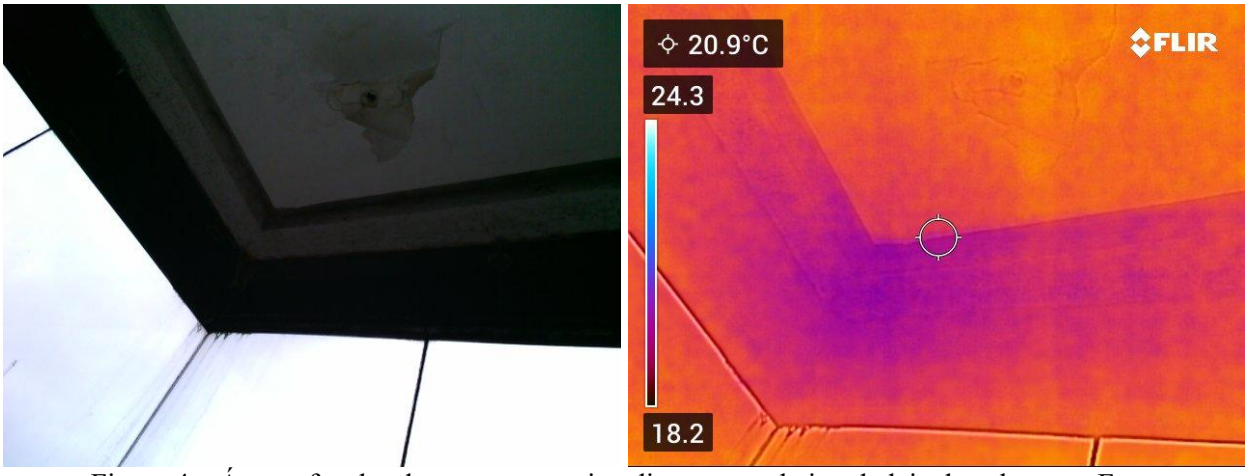


Figura 4 – Áreas afetadas do apartamento imediatamente abaixo da laje de cobertura. Fonte: as autoras.

O piso utilizado no revestimento da laje de cobertura encontra-se danificado apresentando trincas e manchas de sujidade, conforme observa-se na Figura 5.

Identificou-se também placas estufadas e quebradas, o que é resultante da falta de juntas de movimentação. Realizou-se ensaio expedito com martelo metálico e observou-se som cavo à percussão na maioria das placas. Este som evidencia a falta de argamassa de assentamento do piso, ou seja, a maioria das placas encontra-se solta e sem aderência à base.

Observou-se também falhas de execução como a falta de juntas de movimentação e falhas de assentamento das placas. Além disso, em várias regiões inspecionadas, identificou-se a ausência de argamassa de rejuntamento do piso por falta de atividades de manutenção.

Conforme estabelece a NBR 13753 (ABNT, 1996) - Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante, devem ser previstas juntas de movimentação em pisos externos, sendo recomendado seu posicionamento em intervalos que limitem áreas de aproximadamente 20 m².

Na vistoria identificou-se que o piso tem inclinação suficiente em direção aos ralos (> 1,0%), no entanto o número de ralos era insuficiente e os que existiam estavam totalmente obstruídos, como mostra a Figura 6.

Além disso, foi identificado resíduos de um produto escuro (primer) em alguns pontos sobre o piso cerâmico, como uma possível tentativa de solucionar as infiltrações.



Figura 5 – Manchamento e fissuras nas placas cerâmicas. Fonte: as autoras.



Figura 6 – Ralos obstruídos e não impermeabilizados. Fonte: as autoras.

Verificou-se a presença do sistema de impermeabilização (manta asfáltica) tanto na laje de cobertura (Figura 7) quanto na platibanda. No entanto, o material encontrava-se solto, sem aderência em vários pontos e ressecado.

Na alvenaria identificou-se apenas a presença da manta asfáltica sem a ancoragem necessária. Conforme especifica a NBR 9575 (ABNT, 2010), deve ser previsto, nos planos verticais encaixe para embutir a impermeabilização uma altura mínima de 20 cm acima do nível do piso acabado, sendo que no rodapé havia apenas 10 cm na vertical, conforme pode ser visto na Figura 8 e Figura

9. Além disso, na abertura da janela de inspeção realizada na alvenaria identificou-se a presença de umidade abaixo da argamassa de revestimento.

Ressalta-se, que o sistema de impermeabilização com manta asfáltica é amplamente empregado em áreas de cobertura, uma vez que se trata de um sistema flexível, capaz de absorver movimentações térmicas da edificação. Por se tratar de um material pré-moldado e industrializado, apresenta controle de espessura e propriedades, sendo considerado um sistema confiável e com desempenho consolidado quando corretamente executado.

A presença de umidade abaixo da manta asfáltica indica perda de aderência do sistema ao substrato. Nesse contexto, entende-se que a infiltração observada não está associada a uma falha isolada, mas ao somatório de inadequações relacionadas à execução do sistema. Dentre elas destacam-se a provável deficiência de aderência da manta no momento da aplicação, a ausência de ancoragem adequada no rodapé, a inexistência de camada separadora entre o contrapiso e a impermeabilização e a ausência de juntas de movimentação no contrapiso e no revestimento. A combinação desses fatores contribui para o comprometimento do desempenho do sistema de impermeabilização, contribuindo para a redução da sua vida útil.



Figura 7 - Abertura do piso da cobertura e identificação do sistema de impermeabilização abaixo do contrapiso. Fonte: as autoras



Figura 8 - Ancoragem insuficiente do sistema de impermeabilização e manta asfáltica ressecada. Fonte: as autoras.

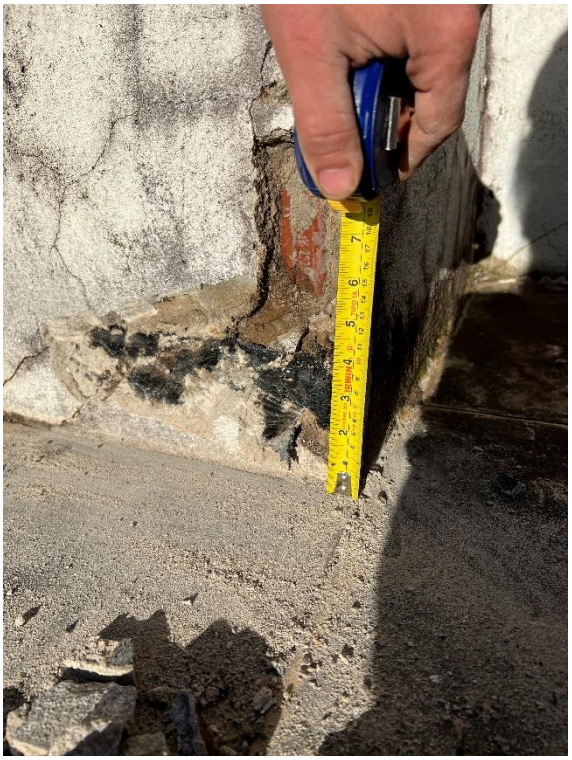


Figura 9 – Ancoragem insuficiente da manta asfáltica. Fonte: as autoras.

Embora tenha sido identificada a presença de impermeabilização na laje de cobertura e nas alvenarias da casa de máquinas e da platibanda, verificou-se que o material se encontra significativamente deteriorado, apresentando aspecto ressecado e perda de aderência nos pontos inspecionados. Constatou-se ainda a ocorrência de falhas de execução, as quais contribuíram para a perda de desempenho da impermeabilização ao longo do tempo, contribuindo para a manifestação de infiltrações na edificação durante a fase de uso.

Verificou-se, ainda, a ausência de projeto específico de impermeabilização e de detalhamentos executivos para a área de cobertura. Conforme estabelece a NBR 9575 (ABNT, 2010), o projeto deve contemplar a definição do sistema, os detalhamentos construtivos e as orientações necessárias para sua correta execução. Nesse contexto, a ausência dessas diretrizes pode ter contribuído para as falhas verificadas na execução e, consequentemente, para a perda de desempenho da impermeabilização ao longo do tempo.

Diante disso, foi indicada a execução de um novo sistema de impermeabilização adequado para a área da cobertura dirimindo o problema de entrada de água nos apartamentos localizados imediatamente abaixo da laje, com as devidas inclinações mostradas na Figura 10. Para a recuperação da área de cobertura recomendou-se a execução de um novo sistema de impermeabilização composto por camada de primer para preparação do substrato, seguida da aplicação de asfalto oxidado para aderência da manta asfáltica. Como elemento impermeabilizante principal, deve ser utilizada manta asfáltica, sobre a qual deve ser executada uma camada de proteção mecânica, com a finalidade de resguardar o sistema contra ações mecânicas e variações térmicas. Por fim a execução de revestimento cerâmico como camada de acabamento da área de cobertura de acordo com a execução de juntas de movimentação e dessolidarização, conforme indicado na Figura 11 e detalhadas na Figura 12.



Figura 10 – Planta baixa com caimentos da área a ser impermeabilizada. Fonte: as autoras.

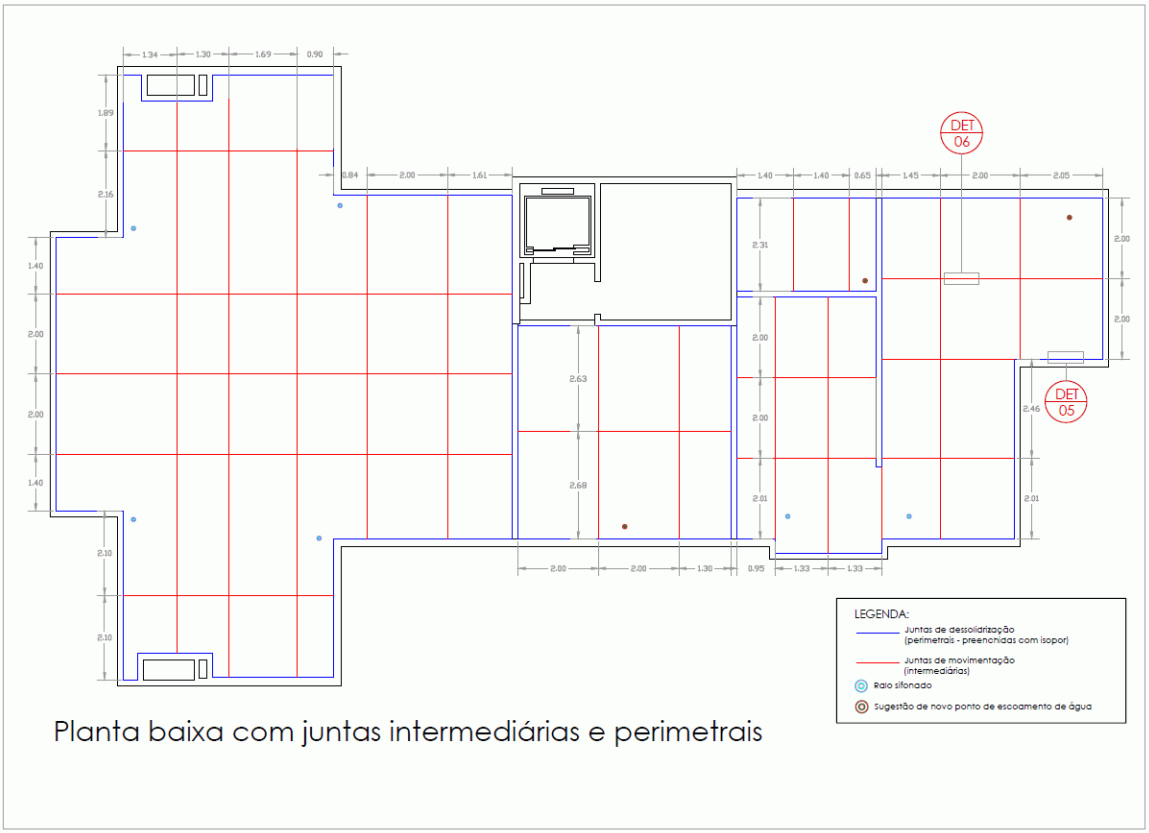


Figura 11 – Posicionamento das juntas de movimentação e dessolidarização. Fonte: as autoras.

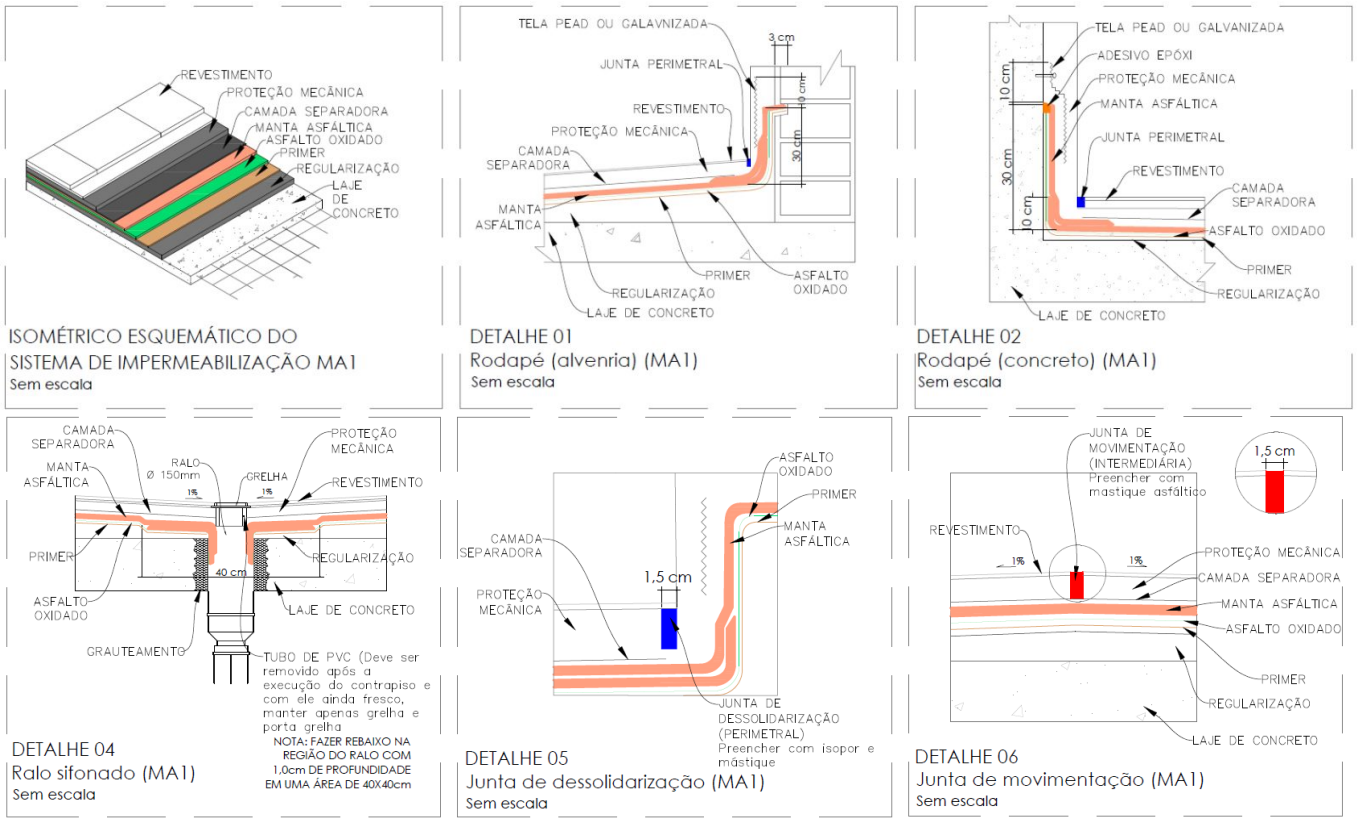


Figura 12 – Detalhamento do sistema de impermeabilização. Fonte: as autoras.

5. CONCLUSÕES

As áreas expostas de uma edificação, como terraços e lajes de cobertura, estão sujeitas a variações significativas de temperatura, tanto sazonais quanto diárias, o que provoca alterações dimensionais decorrentes dos fenômenos de dilatação e contração térmica. Com o aquecimento, a laje sofre dilatação, gerando tensões que se distribuem de forma diferenciada, partindo do centro em direção às extremidades, sendo estas as regiões mais suscetíveis à ocorrência de manifestações patológicas. Nesse contexto, elementos como a platibanda e a própria laje de cobertura estão sujeitos a variações dimensionais em função das oscilações térmicas.

Essas variações podem ocasionar o surgimento de trincas na superfície da laje, comprometer o desempenho do sistema de impermeabilização quando este não se encontra adequado e provocar o destacamento do revestimento cerâmico assentado sobre o contrapiso. Por esse motivo, tais áreas devem ser constantemente inspecionadas, sendo fundamental a realização de atividades de manutenção periódica conforme estabelecido no Plano de Manutenção da Edificação.

Além da ausência de manutenção por parte dos usuários, verificou-se que falhas relacionadas à execução do sistema de impermeabilização ainda são recorrentes nas edificações. Embora essa etapa construtiva seja fundamental para garantir a estanqueidade da edificação, observa-se que muitas vezes não recebe a devida atenção durante o processo construtivo.

Nota-se, ainda, uma significativa distância entre as práticas recomendadas pela literatura técnica e aquelas efetivamente adotadas nos canteiros de obras. Entre os fatores que contribuem para essa situação destacam-se a ausência de estudos prévios para seleção do sistema de impermeabilização em conformidade com as diretrizes das normas técnicas, a deficiência na elaboração de detalhamentos executivos, a falta de qualificação e treinamento da mão de obra e a carência de difusão dessas práticas no setor da construção civil. Ainda hoje, mesmo em empreendimentos executados por empresas de grande porte, como no caso da edificação objeto de estudo, observa-se que a etapa de impermeabilização nem sempre recebe a devida atenção durante a fase de concepção dos projetos.

Tal negligência ocorre, em grande parte, pelo fato de que os sistemas de impermeabilização permanecem ocultos após a conclusão da obra. Ressalta-se que o custo de implantação de um sistema de impermeabilização representa, em média, entre 1% e 3% do custo total da construção. Entretanto, quando a impermeabilização é executada somente após o surgimento de problemas de infiltração em edificações já concluídas, os custos de intervenção tendem a ser significativamente superiores, podendo alcançar acréscimos entre 10% e 15% do valor do serviço, além dos diversos transtornos decorrentes das intervenções corretivas (RIGHI, 2009).

De acordo com Magalhães (2019), a definição do sistema de impermeabilização mais adequado deve ocorrer ainda na fase de concepção do projeto arquitetônico, momento em que se torna possível elaborar um projeto executivo compatível com as condições reais da obra. A tentativa de tratar dessa questão apenas nas etapas finais da execução caracteriza uma prática inadequada e tecnicamente injustificada.

Dessa forma, o estudo evidencia a importância da análise integrada entre projeto, execução e manutenção dos sistemas de impermeabilização, uma vez que a ausência ou deficiência em qualquer uma dessas etapas pode comprometer o desempenho do sistema e favorecer o surgimento de manifestações patológicas ao longo da vida útil da edificação.

6. REFERÊNCIAS REVISAR REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574: execução de impermeabilização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575: impermeabilização — seleção e projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13753: revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755: revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante — projeto, execução, inspeção e aceitação — procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: edificações habitacionais — desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

MAGALHÃES, Rayra Assunção Barbosa; ASSUNÇÃO, Ronaldo Furtado; SILVA, Luzilene Souza; FERREIRA, Márcio Santos; ASSUNÇÃO, Welton Raiol. **Estudo de caso de patologias causadas pela umidade face à inexistência de implantação do sistema de impermeabilização nas garagens do 1º e 2º subsolo de um edifício residencial multifamiliar de múltiplos pavimentos em Belém/PA**. *Revista de Ciência e Tecnologia*, 2019, v. 5, n. 9.

RIGHI, Geovane Venturini. **Estudo dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções — análise de casos**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SOUZA, Rafaela Oliveira da. **Custos de manutenção e reformas de estruturas por falta do sistema de impermeabilização**. João Pessoa: Instituto Federal da Paraíba, 2020.

CAPÍTULO 101 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/by3j7e36
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/t3gc7h46

PLANO DIRETOR DE MANUTENÇÃO EM ESTRUTURAS PORTUÁRIAS: DIAGNÓSTICO, MODELAGEM DE DURABILIDADE E ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO

Marcela B. S. Sollero*[1], Rodrigo T. Santos[1], Manoel M. Freitas Filho[2], Marcio B. Oliveira[2]
*Autor de contato:marcela.barros@concremat.com.br

[1] CONCREMAT Engenharia e Tecnologia S.A., São Paulo, Brasil
[2] COMPLEXO DO PECÉM, São Gonçalo do Amarante, Brasil

RESUMO

As estruturas do Terminal do Pecém, um dos principais complexos logísticos do Brasil, operam expostas a um meio marinho de extrema agressividade, o que demanda estratégias rigorosas para assegurar sua integridade e performance. Visando garantir a continuidade das operações e a preservação do patrimônio, implantou-se um Plano Diretor de Manutenção de Longo Prazo voltado à gestão estratégica de ativos de concreto armado e protendido, com foco na Ponte de Acesso 1, nos Píeres e no TMUT. O artigo aborda como o Plano Diretor foi elaborado com base em inspeções visuais e ensaios para caracterização das estruturas e diagnóstico dos mecanismos de degradação atuantes, permitindo a fundamentação de modelos matemáticos de previsão de vida útil, os quais foram retroalimentados por uma segunda campanha de investigação para ajuste de parâmetros. A abordagem focada no ciclo de vida possibilitou o estabelecimento de diretrizes preventivas e corretivas, projetando prazos, métodos e custos para um horizonte de 25 anos, consolidando-se como uma ferramenta essencial para a sustentabilidade da infraestrutura portuária.
Palavras-chave: inspeção; manutenção; porto.

ABSTRACT

The structures of the Pecém Terminal, one of Brazil's major logistical complexes, operate under extreme marine aggressiveness, demanding rigorous strategies to ensure their integrity. Aiming for operational continuity and asset preservation, a Long-Term Maintenance Master Plan was implemented for the strategic management of reinforced and prestressed concrete assets, focusing on Access Bridge 1, the Piers, and the TMUT. The article discusses the Master Plan's development based on inspections and testing for structural characterization and degradation diagnosis, substantiating mathematical service-life prediction models updated through a second investigation campaign. The life-cycle-oriented approach enabled the establishment of preventive and corrective guidelines, projecting schedules, methods, and costs over a 25-year horizon, consolidating itself as an essential tool for port infrastructure sustainability.
Keywords: inspection; maintenance; port.

1. INTRODUÇÃO

Estruturas portuárias *offshore* representam um dos cenários de maior desafio para a Patologia das Construções e para a gestão de ativos, dada a exposição contínua a névoa salina, ciclos de molhagem e secagem e a ação dinâmica de ondas. No complexo do Porto do Pecém, um dos 10 maiores portos do Brasil em total de movimentação de contêineres (bruto e líquido) (Brasil, 2024), este cenário de agressividade ambiental se torna mais importante devido à relevância estratégica dos ativos, que operam desde 2018 sob uma *joint venture* com o Porto de Roterdã. A Figura 1 ilustra as estruturas abordadas do Porto de Pecém.

Figura 1 – Vista aérea da Ponte de Acesso 1, dos Píeres 1 e do 2 e do TMUT do Porto de Pecém



Fonte: Google Earth (2026).

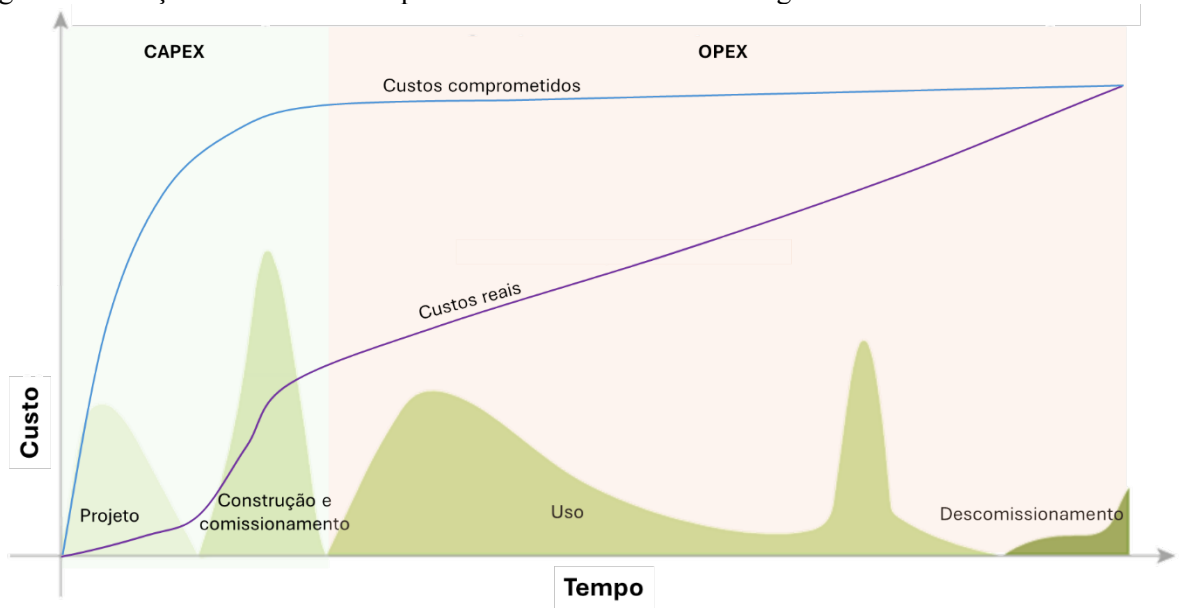
Para garantir a durabilidade das estruturas e a continuidade operacional, implementou-se um rigoroso protocolo de avaliação de integridade e manutenção, antecipando-se, inclusive, a diretrizes de durabilidade e periodicidade estabelecidas posteriormente pela ABNT NBR 19782 (2024).

Diferente das abordagens de manutenção puramente reativas, a estratégia adotada fundamentou-se em um Plano Diretor de Manutenção de Longo Prazo (2018-2043). Este plano utilizou a análise estatística probabilística para a previsão de vida útil residual e a retroalimentação das análises com dados de reinspeção, permitindo o planejamento das intervenções com base no monitoramento do quadro patológico e em modelos de degradação realistas. O presente artigo objetiva apresentar a metodologia de elaboração do Plano Diretor de Manutenção, discutindo as ferramentas de investigação de campo, como inspeção e ensaios laboratoriais avançados até a modelagem computacional, e os resultados obtidos após o primeiro ciclo de cinco anos de execução, que permitiu o ajuste fino das estratégias de recuperação e proteção das estruturas de concreto armado e protendido.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ECONÔMICA

A gestão de infraestruturas portuárias deve ser compreendida sob a ótica do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost - LCC). Segundo dados do *Pacific Region Infrastructure Facility* (PRIF, 2021), o custo de projeto e construção representa apenas cerca de 20% do custo total de propriedade ao longo da vida útil de um ativo: Os 80% restantes são determinados pelas decisões de Operação e Manutenção (O&M), como ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Relação entre custos comprometidos e custos reais ao longo do Ciclo de Vida de infraestrutura



Fonte: Adaptado de Organização das Nações Unidas (ONU, 2021).

Neste contexto, a manutenção não deve ser encarada como um custo variável, mas como um investimento para preservar o capital investido. O relatório do PRIF destaca indicadores fundamentais que foram observados na estruturação do Plano Diretor de Pecém:

- *Replacement Asset Value* (RAV): Define que o gasto anual ideal com manutenção deve situar-se em determinada porcentagem do valor de reposição do ativo – estimado em 2 a 5% pelo documento–, evitando grandes variações de fluxo de caixa;
- Política de priorização: Políticas de manutenção que focam apenas em recuperar os ativos em pior estado (*fix-worst-fix*) tendem a ser mais onerosas e ineficientes. Ao concentrar recursos apenas na reabilitação de elementos severamente danificados, negligencia-se a manutenção preventiva de elementos em estado regular, acelerando sua degradação. O Plano Diretor do Pecém rompe com essa lógica ao priorizar intervenções preventivas em conjunto com as ações intervenções corretivas mais críticas;
- Heterogeneidade das estruturas: Diferente de ativos isolados, uma rede de infraestrutura portuária possui “múltiplas idades". Elementos construídos em 1998 convivem com ampliações de 2011 e 2023, exigindo uma estratégia de renovação que considere a longevidade individual de componentes, como estacas, defensas e vigas, dentro do sistema total.

3. CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS E HISTÓRICO

Para a compreensão do estado de conservação, foi realizado um levantamento retrospectivo do histórico das estruturas Ponte de Acesso 1, Píer 1, Píer 2 e TMUT (Terminal de Múltiplos Usos), abrangendo desde os projetos originais de 1998 até registros técnicos e tecnológicos de execução e os relatórios e registros de manutenção ao longo dos anos.

A concepção original das estruturas antecipou requisitos de durabilidade que só se tornariam exigências normativas anos depois, evidenciada pelo uso de Concreto de Alto Desempenho (CAD) com adição de sílica ativa e $f_{ck} \geq 50$ MPa. A Figura 3 ilustra o processo de execução das estruturas, parte pré-moldadas e parte moldadas *in loco*.

Figura 3 – Ponte de Acesso I durante sua execução



Fonte: Rodrigues, Sousa (2007).

A Ponte de Acesso possibilita o acesso ao Píer 1, ao Píer 2, ao TMUT e ao quebra-mar. A Ponte de Acesso 1 foi construída em duas fases. A 1ª fase, realizada entre os anos de 1997 e 1999, se estende entre os eixos 1 e 108, com vãos de 20,0 m entre os eixos 2 e 74 e de 10,0 m a partir desse trecho. A 2ª fase, construída entre 2009 e 2011, com 34 eixos espaçados em 10,3 m. A Ponte de Acesso 1 possui aproximadamente 2.440 m.

O Píer 1, destinado à movimentação de minério de ferro e carvão, possui dois berços de atracação com 32 defensas. A estrutura possui 362 m de comprimento e 45 m de largura, dividido em 61 eixos transversais e 11 eixos longitudinais. O Píer 2, composto por um trecho destinado a movimentação de granéis líquidos e um trecho denominado Píer de Rebocadores, também possui dois berços de atracação. A estrutura se estende por 413 m de comprimento e 45 m de largura, dividido em 45 eixos transversais e 4 eixos longitudinais.

O TMUT, estrutura com 1.600 m de comprimento e 107 m de largura, é composto por 6 berços dispostos sequencialmente no sentido longitudinal da zona abrigada. Atualmente, é destinado ao movimento de diversos tipos de carga, como contêineres, granéis sólidos minerais e carga geral solta, incluindo produtos siderúrgicos. As Figuras 4 a 6 ilustram as estruturas citadas.

Figura 4 – Vistas parciais da Ponte de Acesso 1



Fonte: os autores.

Figura 5 – Vistas parciais do Píer 1



Figura 6 – Vista parcial e realização de ensaio no TMUT



Fonte: os autores.

4. METODOLOGIA E DIAGNÓSTICO

O correto diagnóstico do quadro patológico apresentado pelas estruturas é a base de todo o trabalho desenvolvido, norteando as ações apresentadas no Plano Diretor. Dessa forma, a campanha de investigação inicial seguiu diretrizes internacionais consagradas, como as normas e boletins ACI 228.2R (2013), ACI 224.1R (2007), ISO 16311-2 (2014) e o boletim FIB 34 (2006), consistindo em:

- **Inspeção Detalhada**
  - Mapeamento sistemático de anomalias em zonas emersas e submersas do Píer I, da Ponte de Acesso I e do Terminal de Múltiplos Usos (TMUT). Permitiu o registro e conhecimento de todos os pontos de danos nas estruturas, fundamentando análises e previsões orçamentárias.

- **Exame Petrográfico com Técnicas de Microscopia e EDS**
  - Investigação de reações deletérias internas, como a Reação Álcali-Agregado (RAA) e a formação de etringita tardia (DEF), monitoradas em função do elevado consumo de cimento e das tensões térmicas inerentes a elementos de grande porte em climas tropicais. Possibilitou também a visualização de cloretos e de Sal de Friedel nas camadas mais superficiais.

- **Ensaios Eletroquímicos, Químicos e Físicos**
  - Determinação de cobrimento, potencial elétrico de corrosão das armaduras, profundidade de carbonatação e resistência à compressão do concreto. Expôs o cobrimento majoritariamente adequado, a baixa espessura carbonatada e a alta resistência do concreto, superando 100 MPa em alguns elementos;
  - Perfis de cloretos e sulfatos solúveis e totais. Permitiram diagnosticar a corrosão por cloretos como o mecanismo de degradação preponderante, avaliar a profundidade de penetração e diferenciar os cloretos disponíveis para corrosão (solúveis) e quimicamente combinados, mas que podem ser desestabilizados pela alteração de pH provocada pela carbonatação do concreto.
  - Avaliação dos mecanismos de transporte iônico (ASTM C1202) após ensaios de determinação do volume de vazios permeáveis (ASTM C642), coeficiente de difusão, secagem (ASTM C1792) e migração iônica. Embasaram a modelagem de durabilidade realizada no *software* STADIUM.

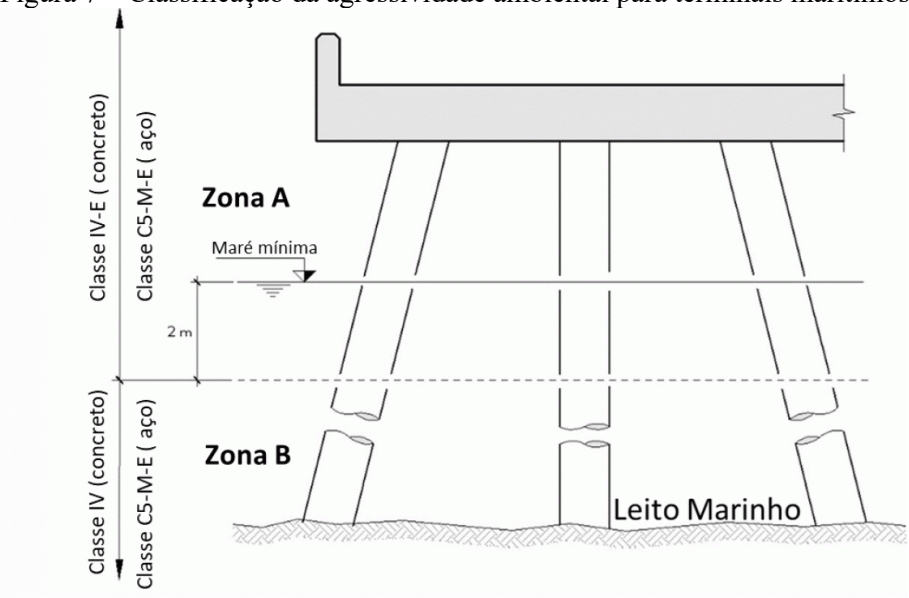
As investigações realizadas confirmaram que o Concreto de Alto Desempenho utilizado em 1998, com sílica ativa, alto f_{ck} e controle tecnológico rigoroso, continua sendo a principal barreira física contra a degradação. A baixa taxa de carbonatação e a lenta migração de cloretos validam as decisões de projeto da época, reforçando que o investimento inicial em materiais de qualidade reduz drasticamente o custo do ciclo de vida.

A adição de sílica ativa atua através de dois mecanismos principais: o efeito físico (*filler*), preenchendo os vazios entre as partículas de cimento, e o efeito químico (reação pozolânica), reagindo com o hidróxido de cálcio para formar silicato de cálcio hidratado (C-S-H) adicional. Este processo resulta em uma zona de transição pasta-agregado muito mais densa, reduzindo drasticamente a permeabilidade e o coeficiente de difusão de íons cloreto (Mehta; Monteiro, 2014).

Dada a agressividade da região de arrebentação (zona de *spray*) – na proximidade da praia e fora da cobertura do quebra-mar–, onde o aporte de cloretos é contínuo, a barreira física formada pelo concreto de alta resistência com adição mineral permitiu que elementos com mais de 20 anos de exposição ainda apresentassem frentes de contaminação superficiais, preservando a passivação das armaduras.

A norma ABNT NBR 19782 (2024), que se tornou vigente após a execução das duas campanhas de inspeção, determina que a VUP (Vida Útil de Projeto) mínima para terminais portuários deve ser considerada como 50 anos, não implicando na inexistência de danos de pequena monta decorrentes dos mecanismos de degradação naturais. A norma aborda o conceito de divisão da Classe de Agressividade Ambiental IV em uma região convencional e uma região especial (IV-E) (Figura 7), que requer a adoção de medidas especiais, como inibidores de corrosão incorporados ao concreto, ânodos de sacrifício, pinturas ou revestimentos, para o alcance de sua VUP. Tais ações são expostas ainda como essenciais para a obtenção de VUPs superiores a 50 anos, sendo indicado o cálculo da VUR (vida útil residual) de estruturas existentes com base em coeficientes de deterioração relacionados aos mecanismos de degradação atuantes.

Figura 7 – Classificação da agressividade ambiental para terminais marítimos



Fonte: ABNT NBR 19782 (2024).

A norma ABNT NBR 19782 determina também a elaboração de Manuais de Uso, Operação e Manutenção para as estruturas de terminais marítimos, guiando a implantação do sistema de gestão da manutenção, como o Plano Diretor desenvolvido.

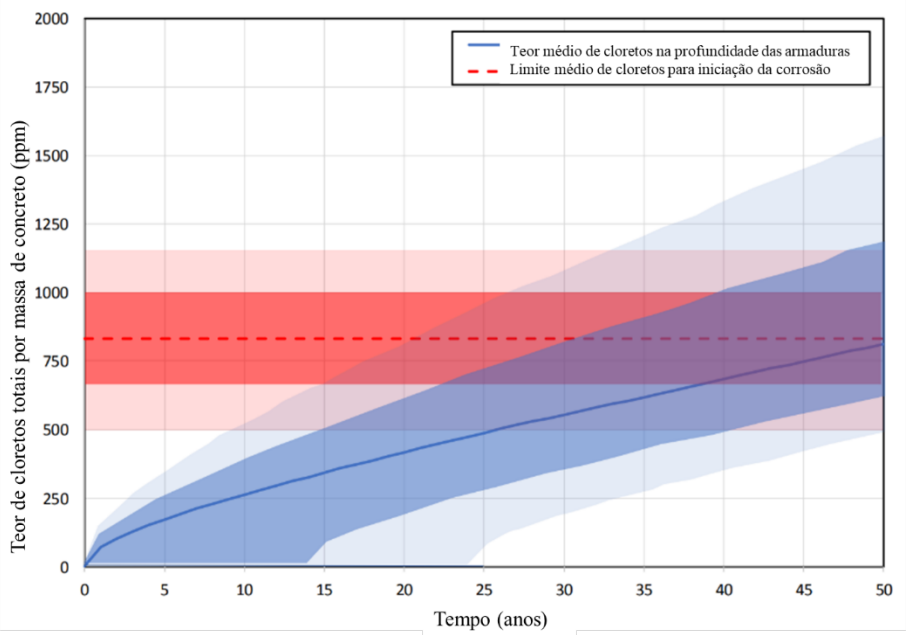
5. MODELAGEM PREDITIVA E PLANEJAMENTO

A fundamentação técnica para o Plano Diretor de Manutenção baseou-se no Boletim FIB 34, constituindo um modelo probabilístico desenvolvido no *software* STADIUM.

O Estado Limite de Serviço (ELS) foi definido como o momento da despassivação da armadura por cloretos. O modelo considera que a vida útil é atingida quando a concentração de cloretos na profundidade do cobrimento iguala o limiar crítico de iniciação da corrosão. A determinação das

ações de manutenção baseou-se no risco de iniciação da corrosão, definido matematicamente quando a probabilidade de falha atinge 10% (β = 1,3). As simulações consideraram a variabilidade estatística dos parâmetros de entrada (cobrimento, porosidade e difusividade). A adoção do índice de confiabilidade permitiu identificar que, embora a maioria das estruturas apresentasse excelente desempenho, elementos específicos na zona de arrebentação atingiriam o limiar de 10% de probabilidade de corrosão em janelas temporais distintas. Utilizando o *software* STADIUM, as estruturas foram inicialmente classificadas em um sistema de "bandeiras" (verde, amarela e vermelha), correlacionando o quadro patológico encontrado com a probabilidade de degradação ao longo de 25 anos para definir as prioridades para ações corretivas e preventivas.

Figura 7 – Exemplo de gráfico obtido durante análise probabilística de durabilidade



Fonte: SIMCO Technologies (2018).

A análise de ciclo de vida permitiu a estruturação de fluxos de caixa e a elaboração de especificações técnicas de alto desempenho, incluindo o uso pioneiro no Brasil de jaquetas de proteção catódica para o encamisamento de estacas protendidas.

A estruturação do Plano Diretor de Manutenção (2018-2043) foi concebida para estabelecer um modelo de gestão de ativos baseado em desempenho. O plano foi segmentado para a Ponte de Acesso 1, o TMUT, o Píer 1 e, posteriormente em 2023, o Píer 2. Dentro dessa divisão, os elementos estruturais foram classificados em lotes de acordo com seu quadro patológico e localização. Para a compreensão da necessidade de divisão das ações em lotes, é importante expor a magnitude das estruturas, sendo que a Ponte de Acesso I possui quase 2,5 km de extensão e há 1451 estacas de concreto protendido, além das estacas com outras concepções, e a necessidade de minimizar as interferências com a operação portuária.

As intervenções a serem realizadas foram registradas em planilhas e desenhos, fornecendo clareza na identificação das ações necessárias em cada período.

6. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E PROTEÇÃO

As especificações técnicas de recuperação e proteção, baseadas nas normas europeias EN 1504 e das recomendações do ACI, foram formuladas tendo em mente as particularidades de cada estrutura e o rigor técnico. Ações bem-sucedidas nas primeiras campanhas de manutenção foram incorporadas, assim como o esclarecimento de pontos que geraram dúvidas.

Dado que o sucesso de qualquer intervenção executada em uma estrutura pode ser comprometido pela limpeza inadequada e que a aderência dos materiais é crítica em uma recuperação, foi especificado o uso de hidrojateamento de alta e ultra alta-pressão, técnica que permite a remoção de concreto e a abertura de porosidade sem microfissuração do material. Em algumas áreas, foram utilizadas ainda microesferas de vidro junto à água, como abrasivo.

Foram especificados graute e concreto projetado, assim como opções de argamassa tixotrópica, compatíveis com as estruturas e com a agressividade ambiental, trabalhando com $f_{ck} \geq 50$ MPa e resistência de aderência a partir de 1,5 MPa. As especificações determinam o uso de inibidores de corrosão, detalhando os tipos adequados em função de sua eficiência e segurança quando a aspectos ambientais e de saúde do trabalhador. Destaca-se que a norma ABNT NBR 19782 prevê o acréscimo de 15 anos à vida útil de elementos de concreto armado na zona emersa de estruturas portuárias através do uso de inibidores incorporados ao material (ABNT, 2024).

As jaquetas de proteção catódica implantadas em estacas de concreto protendido centrifugadas (Figura 8) incorporam anodos de sacrifício de zinco dimensionados para no mínimo 25 anos, polarizando a armadura e controlando o avanço do processo corrosivo, mesmo em ambientes saturados de cloretos. Trata-se de uma solução alinhada à ABNT NBR 19782 (2024), mais eficiente e complexa do que o uso de sistemas de proteção superficial, que se limitam a impedir a entrada de agentes agressivos através das regiões afetadas – desacelerando, mas não interrompendo processos já instaurados – e não podem ser aplicados na face interna das estacas.

A instalação das jaquetas de proteção catódica é uma inovação no Brasil, tendo sido necessária a importação dos materiais. O procedimento passa pela limpeza das estacas com hidrojateamento de alta pressão, pela fixação de ânodos maciços de zinco de 48 lb para proteção da parte submersa e 4 ânodos de zinco de 71 mm x 9 mm x 5000 mm, com 2,83 kg de zinco por metro linear, envoltos em tecido absorvente, para proteção da zona de variação de maré e a região sujeita a respingos. É realizada a conexão elétrica entre ânodos e armaduras, assim como entre o sistema e as caixas de inspeção, antes da fixação de armaduras para a jaqueta, disposição de formas perdidas à base de fibra de vidro e grauteamento. Cabe destacar que a função das jaquetas é proteger os ânodos, sem interferir no comportamento estrutural dos elementos.

A adição das armaduras às jaquetas de proteção catódica derivou de aprimoramentos realizados ao longo das campanhas de execução, utilizando-se telas de fibra de vidro (GFRP – Polímero Reforçado com Fibra de Vidro) álcali resistentes, utilizando-se resina de poliéster como matriz. As armaduras, também utilizadas em outras intervenções no porto, são leves, possuem alta resistência à tração e são imunes à corrosão.

Figura 8 – Vista da limpeza das estacas (a), tela de fibra de vidro (b), posicionamento da camisa de fibra de vidro (c) e recuperação da superestrutura (d)



Fonte: os autores.

Foram especificados diferentes sistemas de proteção para as estruturas emersas, dependendo da agressividade da microrregião a que cada elemento está exposto e ao seu quadro patológico, considerando-se ainda o custo de cada sistema, sua disponibilidade no mercado e a vida útil agregada à estrutura foram considerados. As opções variaram entre um sistema à base de poliuretano permeável ao vapor – condição fundamental –, hidrofugante à base de silano com alta concentração e cristalizante cimentício, este com a vantagem de colmatar fissuras de retração de pequena abertura. A proteção das estruturas é essencial não apenas para desacelerar ou impedir o avanço da corrosão por cloretos, principal mecanismo de degradação atuante, mas também para impedir o aumento da frente de carbonatação e mitigar o avanço de reações expansivas, atualmente pouco significativas.

Cabe destacar ainda os desafios logísticos superados ao se executar ações de manutenção corretiva e preventiva em uma Ponte de Acesso de quase 2,5 km mantendo-se o fluxo de caminhões e granéis, superados pelo planejamento detalhada e pelo uso de andaimes suspensos sob as estruturas.

7. ANÁLISE DO CICLO DE REINSPEÇÃO

A eficácia das intervenções foi reavaliada após 5 anos, permitindo que a retroalimentação do Plano Diretor com coeficientes de correção entre a área de reparo prevista e a efetivamente executada, garantindo maior acurácia orçamentária e técnica. Não só a probabilidade de corrosão foi avaliada, mas também a progressão da área afetada ao longo do período, que impacta diretamente o custo de recuperação e é habitualmente representada por um coeficiente γ aplicado nas dimensões das anomalias entre 1,1 e 2,0. Destaca-se ainda que a ABNT NBR 19782 (2024) sustenta a necessidade de revisão dos Manuais de Uso, Operação e Manutenção após obras de recuperação e proteção, como realizado.

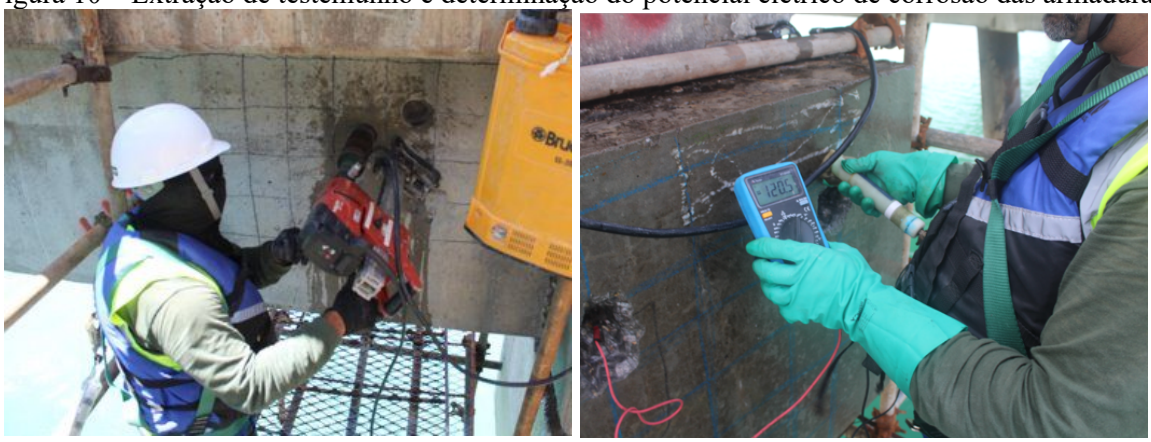
A periodicidade entre as campanhas de inspeção se apresenta alinhada às determinações da norma ABNT NBR 19782 (2024) para estruturas classificadas como condição 5 – Satisfatória ou 6- Boa, em que os danos são ausentes ou "limitados, de magnitude pequena a moderada, sem manifestações características de danos estruturais". Além da inspeção visual, realizou-se determinação de espessura de cobrimento das armaduras, do potencial elétrico de corrosão das armaduras, dos teores de cloretos e sulfatos totais em relação à massa de cimento, da perda de seção transversal da armadura, da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, da resistência à compressão axial e da ocorrência de reações expansivas, além de auscultação por percussão (Figura 9 e Figura 10).

Figura 9 – Auscultação por percussão e determinação da espessura de cobrimento das armaduras



Fonte: os autores.

Figura 10 – Extração de testemunho e determinação do potencial elétrico de corrosão das armaduras



Fonte: os autores.

A distribuição dos ensaios foi a partir do histórico, proporcionando tanto a compressão do avanço dos mecanismos de degradação quanto o aprofundamento do conhecimento sobre as estruturas, o que possibilitou a detecção de eixos e microrregiões mais sujeitas à degradação e, portanto, prioritários. Cabe expor que o Plano Diretor define não apenas prioridades, mas também prazos e custos estimados.

8. CONCLUSÃO

O presente artigo detalhou a estruturação e a execução do Plano Diretor de Manutenção do Porto de Pecém. A metodologia adotada, fundamentada na integração entre campanhas de inspeção visual e ensaios em campo e laboratório, modelagem probabilística de durabilidade e retroalimentação estatística, mostrou-se eficaz ao converter diagnósticos complexos em decisões técnicas objetivas, permitindo o ajuste fino das estratégias de intervenção ao longo do primeiro ciclo de cinco anos.

A experiência de gestão de ativos no Porto do Pecém demonstra que a durabilidade de suas estruturas portuárias é fruto de uma estratégia contínua que une materiais de alto desempenho e planejamento na manutenção. A concepção original das estruturas, com o uso de Concreto de Alto Desempenho e sílica ativa, provou ser uma barreira robusta que permitiu aos ativos suportar mais de duas décadas de severa agressividade ambiental com custos controlados.

A longevidade operacional é assegurada pela gestão de manutenção preditiva consolidada no Plano Diretor de Manutenção (2018-2043) e alinhada às diretrizes da ABNT NBR 19782. O sucesso das intervenções, evidenciado pelo ajuste estatístico do modelo, valida que a priorização técnica e o uso de tecnologias de proteção, como inibidores de corrosão e sistemas catódicos, representam um investimento direto na extensão da vida útil e na otimização do custo do ciclo de vida.

Em última análise, através do modelo adotado no Pecém, a manutenção deixa de ser uma resposta reativa a danos para se consolidar como um ativo estratégico. Ao integrar ensaios avançados, modelagem computacional e uma gestão de reinspeção vinculada ao quadro patológico real, o Porto de Pecém não apenas preserva seu capital investido, mas garante a continuidade operacional necessária para cumprir seu papel central na infraestrutura brasileira.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe do Porto de Pecém pela autorização para divulgação dos dados e por toda a parceria desenvolvida ao longo dos anos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **ACI 224.1R-07**: Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures. Farmington Hills, MI: ACI, 2007.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **ACI 228.2R-13**: Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. Farmington Hills: ACI, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 19782**: Investigação de estruturas de concreto — Inspeção e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). **Estatístico Aquaviário**. Brasília, DF: ANTAQ, 2024. Disponível em: https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/Relatorio.html#pt. Acesso em: 27 fev. 2026.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON (FIB). **FIB Bulletin 34**: Model Code for Service Life Design. Lausanne: FIB, 2006.

GOOGLE. **Google Earth**. Imagem de satélite da região de Pecém, Ceará. Lat: 3°32'08"S Long: 38°48'41"W. Disponível em: https://earth.google.com/web/search/pecem/@-3.53577366,-38.81156874,-0.7579136a,4697.60468754d,35y,-39.89289365h,1.14034538t,0r/. Acesso em: 27 fev. 2026.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16311-2:2014**: Maintenance and repair of concrete structures — Part 2: Assessment of existing concrete structures. Geneva: ISO, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: Microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Managing infrastructure assets for sustainable development**: a handbook for local and national governments. New York: United Nations, 2021.

PACIFIC REGION INFRASTRUCTURE FACILITY (PRIF). **Pacific Infrastructure Maintenance Benchmarking Report**: 2021 baseline assessment. Sydney: PRIF, 2021.

RJ LEE GROUP. **Final Petrographic Report**: Port of Pecem Petrographic Examination, SIMCO17128. Project Number TCH801348. Monroeville, PA: RJ Lee Group, 2018.

RODRIGUES, Maria do Socorro Costa; SOUSA FILHO, Luciano Moreira de. **Pecém**: uma trajetória portuária. Fortaleza: Sebrae/CE, 2007.

SIMCO Technologies. **Memo.** Service-life evaluation – methodology. Quebec, Canada. 2018

CAPÍTULO 102 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/afzzcx54
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/f2cd0343

DURABILIDADE E MANUTENÇÃO DE ESTRUTURAS PORTUÁRIAS DE DIFERENTES GERAÇÕES: DIAGNÓSTICO, APRENDIZADO TÉCNICO E PLANO DE MANUTENÇÃO NO COMPLEXO DE SUAPE

Marcela B. S. Sollero*[1], Rodrigo T. Santos[1], Glauber B. Souza[2]
*Autor de contato:marcela.barros@concremat.com.br

[1] CONCREMAT Engenharia e Tecnologia S.A., São Paulo, Brasil
[2] Complexo Industrial Portuário de Pernambuco

RESUMO

Este artigo analisa os quadros patológicos de estruturas portuárias do Complexo de Suape projetadas em diferentes contextos normativos e submetidas ao mesmo ambiente marinho agressivo. Estruturas construídas entre as décadas de 1980 e 2000 apresentaram dinâmicas distintas de degradação, embora a corrosão das armaduras induzida por cloretos tenha sido identificada como o mecanismo predominante. Com base em campanhas de inspeção e ensaios, os danos foram interpretados por grupos de estruturas, subsidiando a formulação de um Plano de Manutenção Preventiva e Corretiva e das especificações técnicas associadas. O estudo destaca o planejamento da manutenção orientado por diagnóstico como instrumento para a gestão do desempenho estrutural e a preservação da infraestrutura portuária ao longo do ciclo de vida.
Palavras-chave: inspeção; manutenção; estruturas portuárias; durabilidade.

ABSTRACT

This paper analyzes the pathological conditions of port structures at the Suape Port Complex designed under different normative contexts and exposed to the same aggressive marine environment. Structures built between the 1980s and the 2000s exhibited distinct degradation dynamics, although chloride-induced reinforcement corrosion was identified as the predominant mechanism. Based on inspection and testing campaigns, damage patterns were interpreted by groups of structures, supporting the formulation of a Preventive and Corrective Maintenance Plan and associated technical specifications. The study highlights maintenance planning based on diagnosis as a key tool for managing structural performance and preserving port infrastructure throughout the asset life cycle.

Keywords: inspection; maintenance; port structures; durability.

1. INTRODUÇÃO

O Complexo Industrial Portuário de Pernambuco (Complexo de Suape) é um dos maiores centros logísticos do país, figurando entre os 5 maiores complexos portuários do Brasil em total de movimentação de carga geral (Brasil, 2026). Suas estruturas portuárias, divididas em Porto Interno – Cais 1 a 5 – e Porto Externo – Píeres de Granéis Líquidos (PGL1, PGL2, PGL3A e PGL3B) e Cais de Múltiplos Usos (CMU) – foram projetadas e construídas entre 1981 e 2009, prevendo-se para um horizonte próximo a inauguração de um Terminal de Containers e de outros cais no Porto Interno. A Figura 1 ilustra as estruturas portuárias.

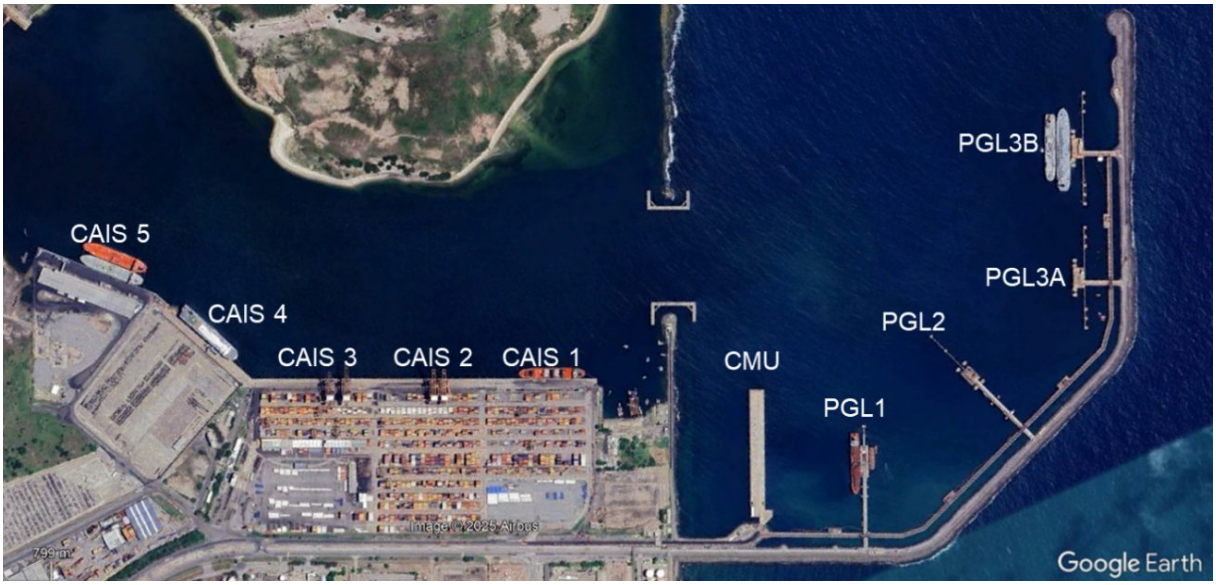


Figura 1 – Vista aérea do Porto Interno e do Porto Externo do Complexo de Suape
Fonte: Google Earth (2026).

A expansão do porto ao longo dos anos, impulsionada pelo desenvolvimento econômico e pelo aumento da demanda logística, resultou na convivência de estruturas que refletem diferentes momentos da engenharia civil. As estruturas projetadas na década de 1980 são fruto de um período em que as exigências normativas e o próprio conhecimento técnico acerca de durabilidade ainda eram limitados, implicando especificações distintas daquelas adotadas para os píeres e cais projetados a partir dos anos 2000, especialmente no que se refere ao tipo de cimento, resistência à compressão, espessura de cobrimento e controle tecnológico.

Nesse contexto, o presente artigo analisa as diferenças nos quadros patológicos observados em estruturas portuárias projetadas em distintos contextos normativos e submetidas ao mesmo meio agressivo, discutindo como os diferentes diagnósticos fundamentaram a formulação de um Plano de Manutenção Preventiva e Corretiva e de especificações técnicas aplicáveis ao conjunto das estruturas portuárias do Complexo de Suape. Sob a ótica da gestão de ativos, a manutenção deixa de ser compreendida apenas como resposta a danos severos e passa a constituir um pilar da gestão da infraestrutura portuária. Estudos internacionais indicam que os custos de operação e manutenção representam a maior parcela do custo total de propriedade de uma infraestrutura ao longo de sua vida útil, sendo fortemente influenciados pelas decisões tomadas a partir da fase de inspeção e diagnóstico. Em complexos portuários caracterizados pela coexistência de estruturas com diferentes idades e concepções construtivas, como Suape, a consolidação de programas contínuos de inspeção e diagnóstico é condição essencial para uma gestão de manutenção eficiente e economicamente sustentável (PRIF, 2021).

2. CONTEXTO NORMATIVO, CONSTRUTIVO E DE DURABILIDADE

A concepção e o desempenho das estruturas portuárias estão diretamente relacionados ao contexto normativo vigente à época de sua elaboração e ao grau de maturidade do conhecimento técnico acerca dos mecanismos de degradação associados ao ambiente marinho. No Brasil, até as décadas finais do século XX, a durabilidade das estruturas de concreto era tratada de forma subjetiva, baseada no bom senso e na experiência do profissional e assegurada por exigências prescritivas, sem a adoção explícita de critérios de vida útil de projeto (Medeiros, Andrade, Helene; 2011).

As estruturas mais antigas de Suape foram projetadas sob a norma ABNT NBR 6118:1980 (ABNT, 1980), que estabelecia cobrimentos mínimos e recomendações genéricas para ambientes agressivos, sem definir parâmetros objetivos relacionados à permeabilidade do concreto, à penetração de agentes deletérios ou à adoção de medidas de proteção adicionais. Embora a norma reconhecesse o ambiente marinho como fortemente agressivo, a ausência de diretrizes claras quanto à sua influência mesmo em elementos sem contato direto com a água abria espaço para interpretações diversas, refletindo o estágio do conhecimento técnico disponível à época.

A partir dos anos 2000, observa-se uma mudança progressiva de paradigma no meio técnico, acompanhando os avanços na tecnologia do concreto e a maior compreensão dos processos de degradação. Esse movimento se reflete na revisão da ABNT NBR 6118:2003 (ABNT, 2003), que incorporou de forma estruturada o conceito de durabilidade, introduzindo a classificação da agressividade ambiental e vinculando parâmetros como resistência característica do concreto, relação água/cimento (a/c) e cobrimento mínimo das armaduras às condições de exposição. Para estruturas portuárias sujeitas à respingos de maré, enquadradas como Classe de Agressividade Ambiental IV, passaram a ser exigidos concretos de maior resistência e menor permeabilidade, associados a maiores espessuras de cobrimento.

A publicação da ABNT NBR 19782:2024 (ABNT, 2024) consolida esse entendimento e estabelece requisitos específicos para o projeto de estruturas portuárias, integrando critérios estruturais, ambientais e de durabilidade. A norma fixa uma vida útil de projeto mínima de 50 anos para terminais portuários e introduz explicitamente os conceitos de vida útil residual e de acréscimo de vida útil por meio da adoção de sistemas de proteção, além de classificar a zona de variação e respingos de maré como ambiente de agressividade especial (classe IV-E).

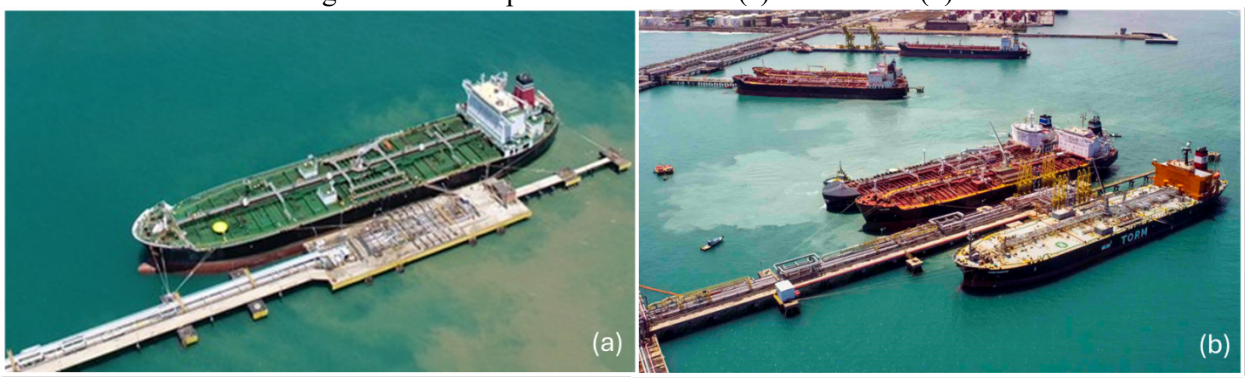
Do ponto de vista construtivo, a ABNT NBR 19782:2024 estabelece que, para estruturas inseridas em ambientes altamente agressivos e com vida útil de projeto igual ou superior a 50 anos, o atendimento isolado aos parâmetros usuais de projeto não é suficiente, sendo requerida a adoção de sistemas especiais de proteção, como inibidores de corrosão, proteção catódica, ânodos de sacrifício e revestimentos superficiais. A norma reforça ainda a integração entre durabilidade e gestão da manutenção, ao exigir a realização de inspeções periódicas e a avaliação contínua da vida útil residual como subsídio às decisões de intervenção.

Nesse contexto, a coexistência em Suape de estruturas projetadas sob diferentes referenciais normativos e concepções construtivas resulta em comportamentos distintos frente ao mesmo meio agressivo. A compreensão desse contexto normativo e construtivo é fundamental para a interpretação dos quadros patológicos observados nas diferentes gerações de estruturas e para o estabelecimento de estratégias de manutenção compatíveis com suas características, em consonância com as diretrizes atualmente preconizadas pelas normas técnicas vigentes.

3. CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS E HISTÓRICO

Os projetos do Píer de Granéis Líquidos 1 (PGL1) datam de 1981. Sua plataforma central (Figura 2), com 84 m de comprimento e 25 m de largura, possui superestrutura em grelha formada por laje sobre vigas de concreto armado, apoiadas em estacas centrifugadas de concreto protendido. Dispõe de 6 dolfins, ponte de acesso com *pipe rack* e Cais de Rebocadores, totalizando 330 m de extensão.

Figura 2 – Vistas parciais dos PGL 1 (a) e do PGL 2 (b)



Fonte: Brasil (2014) e Brasil (2020).

O Cais de Múltiplos Usos (CMU) (Figura 3) teve seus projetos iniciados em 1983 e sua construção em 1986, sendo inaugurado após cinco anos. Possui superestrutura em laje sobre grelha de vigas com modulação de aproximadamente 10,0 m x 5,0 m, totalizando 342,5 m de comprimento e 39,2 m de largura, apoiada em 754 estacas de concreto centrifugado e protendido, além de uma ponte de acesso de 20 m de largura e 15 m de comprimento. Trata-se de uma das maiores estruturas do complexo, tanto em extensão quanto em diversidade de usos operacionais.

Figura 3 – Vistas parciais do CMU



Fonte: os autores.

Os Cais 1 a 5, adjacentes entre si e com um balanço voltado para o mar, somam cerca de 1628 m de comprimento e 33 m de largura. São constituídos por superestrutura em grelha de laje sobre vigas de concreto armado, apoiadas em blocos e em cerca de 1400 estacas de concreto protendido.

Do ponto de vista de materiais e parâmetros de projeto, o PGL1, o CMU e os Cais 1 a 3 foram concebidos sob a vigência da ABNT NBR 6118:1980 (ABNT, 1980), com o uso de cimento Portland comum 320 (CP I 32, na classificação atual), sem adições, consumo mínimo de 400 kg/m³ e fator a/c de 0,45. A resistência à compressão especificada variou de 220 kgf/cm² (22 MPa) a 25 MPa para a superestrutura e de 220 kgf/cm² (22 MPa) a 30 MPa para a infraestrutura.

O PGL 2, com 386,2 m de extensão, possui plataforma central de 45,0 m x 32,0 m, além de ponte, passarela de acesso e 10 dolfins. A superestrutura da plataforma é constituída por grelha de lajes sobre vigas, apoiando-se em estacas de concreto protendido. Os projetos, iniciados em 2000, já refletem a transição para um novo paradigma de durabilidade, com a especificação de concreto de 50 MPa, em consonância com os avanços normativos e tecnológicos então em curso.

Essa evolução se consolida nos projetos dos Cais 4 e 5, iniciados em 2008, nos quais foram especificados concretos com $f_{ck} \geq 45$ MPa, uso de cimento resistente a sulfatos e com limitação de C_3A, adições minerais, fator a/c $\leq 0{,}42$, cobrimento mínimo das armaduras de 4,5 a 5,5 cm, verificação da reatividade potencial dos agregados e medidas explícitas de mitigação da corrosão das armaduras. Essas estruturas evidenciam a incorporação, ainda na fase de projeto, de parâmetros voltados à redução da permeabilidade do concreto e ao controle dos mecanismos de degradação em ambiente marinho.

Os PGLs 3A e 3B, inaugurados em 2010, representam a geração mais recente de estruturas portuárias do complexo. Possuem plataformas, pontes de acesso e 10 dolfins cada, formados por elementos de concreto armado e protendido. As superestruturas das plataformas caracterizam-se por lajes sobre grelha de vigas de concreto armado, com 2 níveis. A infraestrutura é formada por estacas centrifugadas de concreto protendido. Nessa geração, os parâmetros de projeto e detalhamento já incorporam, desde a origem, critérios compatíveis com ambientes de agressividade elevada, alinhados às práticas de durabilidade então consolidadas.

As estruturas portuárias do Complexo de Suape, portanto, refletem três gerações construtivas diretamente associadas ao contexto normativo e ao avanço do conhecimento técnico acerca da durabilidade do concreto em ambiente marinho:

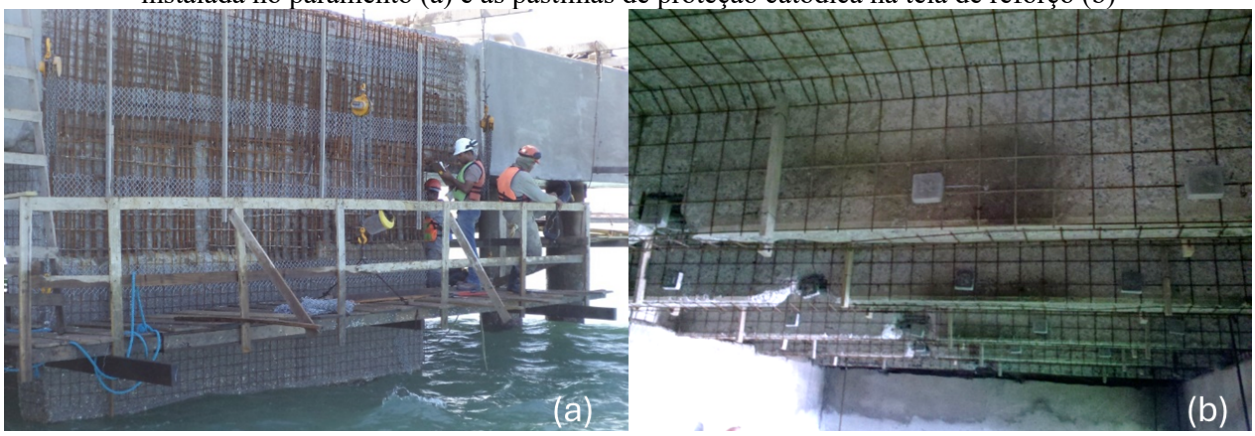
a) A geração dos anos 1980, concebida sob a ABNT NBR 6118:1980, com concretos de menor resistência e cobrimentos mais modestos;
b) O período de transição entre 2000 e 2008, marcado pela adoção progressiva de concretos de maior desempenho;
c) A geração inaugurada em 2010, já alinhada às práticas de projeto e detalhamento orientadas para a mitigação da corrosão induzida por cloretos e para a redução da permeabilidade.

Passados cerca de 20 anos após suas inaugurações, foram identificados danos nas estruturas de concreto armado do CMU e do PGL 1, os quais motivaram inspeções visuais e obras de recuperação na década de 2000. Como essas estruturas permaneceram sem sistemas de proteção superficial nesse período, ocorreu a penetração progressiva de cloretos, propiciando a corrosão das armaduras e o desplacamento do concreto.

Em 2012, foi finalizada uma nova campanha de inspeção, seguida de intervenções de recuperação no CMU, quando se realizou o encamisamento de elementos da superestrutura. Apesar do cobrimento médio das armaduras de 3,0 cm nas vigas e de 3,5 a 5,0 cm nas lajes, verificaram-se contaminações mais profundas, o que levou à substituição localizada de armaduras, à remoção do

concreto de cobrimento deteriorado e ao encamisamento com concreto projetado e telas soldadas. Conforme a área de intervenção, foram empregados concretos com cimento CP II-Z, CP III ou CP IV, com adição de microssílica, f_{ck} = 40 MPa, ou concreto projetado com microssílica e nitrito de sódio, f_{ck} = 35 MPa. Nessa etapa, foram testadas diferentes soluções de proteção catódica, incluindo: (i) tela de proteção catódica constituída por liga de alumínio, zinco, estanho e, ocasionalmente, manganês; (ii) pastilhas de proteção galvânica à base de zinco e alumínio; (iii) inibidor de corrosão à base de nitrito de sódio incorporado ao concreto projetado; e (iv) inibidor de corrosão misto aplicado por aspersão. A Figura 4 ilustra algumas das soluções implantadas.

Figura 4 – Vistas parcial e detalhe das obras de recuperação. Observa-se a tela de proteção catódica instalada no paramento (a) e as pastilhas de proteção catódica na tela de reforço (b)



Fonte: os autores.

Considerando a reatividade potencial de parte dos agregados, característica comum da região, ampliou-se a importância da redução da umidade nos elementos estruturais. Para tanto, foram aplicados sistemas de proteção à base de cristalizante cimentício, estucamento com argamassa polimérica e pintura com tinta betuminosa, como medidas complementares de proteção.

A partir desse histórico, o Complexo de Suape decidiu implantar um Sistema de Gestão de Ativos para o acompanhamento das estruturas portuárias, com o objetivo de embasar ações de manutenção corretiva, preventiva e preditiva, garantindo a preservação e a disponibilidade das estruturas, bem como a otimização dos custos associados. Nesse contexto, foi desenvolvida uma ampla campanha de inspeções e ensaios em todas as estruturas, posteriormente atualizada por inspeções realizadas entre 2013–2014 e 2019–2021, fundamentando o planejamento e as intervenções subsequentes.

4. METODOLOGIA E DIAGNÓSTICO

A implantação do Sistema de Gestão de Manutenção das estruturas portuárias do Complexo de Suape foi precedida pela anamnese das estruturas, com levantamento e análise de projetos e memoriais, realização de inspeção visual preliminar e detalhada e execução de ensaios nas estruturas de concreto armado e protendido. Esse conjunto de atividades permitiu caracterizar as condições estruturais, estabelecer prioridades e subsidiar o planejamento, o controle e a sistematização das ações de manutenção ao longo do tempo.

A metodologia adotada contemplou as estruturas portuárias integrantes do sistema operacional, incluindo a Tubovia, uma ponte de concreto armado com 2,3 km de extensão, apoiada sobre 421 estacas de concreto protendido, ainda que nem todas essas estruturas sejam discutidas em detalhe no presente artigo. As atividades de inspeção e diagnóstico foram estruturadas de forma sistemática

e periódica, com definição de tipos de inspeção, frequência e níveis de aprofundamento, de modo a permitir o acompanhamento da evolução dos quadros patológicos e a comparação entre campanhas sucessivas. Como parte do método, a formulação do Plano de Manutenção Preventiva e Corretiva baseou-se nos princípios da EN 1504 (CEN, 2008), referencial para a definição dos objetivos das intervenções e para a seleção dos métodos de reparo e proteção do concreto. Adicionalmente, foram elaboradas estimativas orçamentárias associadas às ações de manutenção, não com caráter executivo, mas como instrumento de priorização técnica e planejamento, integrando os resultados do diagnóstico estrutural às decisões de gestão da manutenção.

Entre 2012 e 2014, foi realizada uma ampla campanha de inspeções e ensaios, com amostragem representativa nas diferentes estruturas portuárias, contemplando:

- Inspeção visual das regiões emersas e submersas;
- Localização das armaduras e determinação do cobrimento por indução magnética;
- Determinação da espessura carbonatada do concreto;
- Determinação do potencial de corrosão das armaduras;
- Avaliação da homogeneidade do concreto por ultrassom;
- Determinação dos teores de cimento, cloretos totais e sulfatos totais;
- Determinação da massa específica, absorção e índice de vazios e
- Determinação de permeabilidade *in situ* - Pipeta Karsten;
- Determinação da resistência à compressão axial e de módulo de deformação do concreto;
- Análise petrográfica, abrangendo técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV);
- Conferência geométrica e cadastramento de armaduras;
- Monitoramento dinâmico;
- Levantamento de condições ambientais e cargas permanentes;
- Ensaio de integridades de estacas (PIT – *pile integrity test*) e sondagem a percussão.

A partir da análise integrada dos dados obtidos, foi realizado o diagnóstico dos mecanismos de degradação preponderantes, destacando-se a corrosão das armaduras induzida por cloretos, com menor relevância da corrosão por carbonatação e da reação álcali-agregado. Esses mecanismos foram avaliados com base em estudos das fases de iniciação e propagação da corrosão, bem como em estimativas de vida útil de serviço e vida útil residual das estruturas.

Como parte do diagnóstico estrutural, foi realizada a análise da capacidade portante do CMU por meio de modelagem matemática tridimensional baseada no método dos elementos finitos, utilizando o software SAP 2000 (Figura 5).

Figura 5 – Vistas do modelo: (a) geral, (b) inferior na região da junta de dilatação e (c) lateral, evidenciando-se em marrom a restrição lateral das estacas por elementos tipo *spring*



Fonte: os autores.

A análise estrutural teve caráter previdente e decisório, permitindo verificar de forma objetiva que os processos de corrosão identificados ao longo da vida útil não implicaram comprometimento da capacidade resistente da estrutura. A modelagem considerou a geometria e as propriedades reais dos materiais, confirmadas por conferência geométrica e ensaios, o histórico de intervenções e o quadro patológico existente, incorporando ainda os resultados do monitoramento dinâmico da estrutura para calibração.

Os resultados da análise evidenciaram a robustez estrutural do sistema, com fatores de segurança obtidos na verificação dos esforços de flexão e cisalhamento sempre superiores ao valor mínimo adotado, destacando-se: vigas longarinas com FS de 1,8 a 2,4, vigas transversinas com FS = 3,3, laje com FS = 2,5 e estacas com FS = 2,2. Na modelagem, foram considerados os carregamentos pertinentes às estruturas portuárias, incluindo sobrecargas operacionais, variações térmicas, esforços decorrentes da atracação e amarração de embarcações e carga móvel representada pelo trem-tipo TB-45. As verificações dos estados limites último (ELU) e de serviço (ELS) indicaram deslocamentos máximos e aberturas de fissuras inferiores aos limites estabelecidos pela ABNT NBR 6118 (ABNT, 2007), confirmando o comportamento estrutural adequado.

Como desdobramento dessas análises, foi implementado um Plano de Manutenção Preventiva e Corretiva, apoiado por um Sistema de Gestão da Manutenção informatizado. A adoção desse sistema e do plano associado foi reconhecida como boa prática, tendo sido inclusive recomendada pelo Tribunal de Contas da União (Brasil, 2014a).

Entre 2019 e 2020, após nova campanha de inspeção visual, foram realizados ensaios complementares, incluindo a determinação da espessura carbonatada do concreto, do potencial de corrosão das armaduras, da resistividade elétrica superficial do concreto e dos teores de cloretos e sulfatos livres, além de análises petrográficas com técnicas de microscopia. A seleção dos pontos de ensaio foi planejada de modo a permitir tanto a avaliação da evolução do quadro patológico em relação à campanha anterior quanto a ampliação das áreas avaliadas, com um mínimo de 30 pontos por estrutura.

No caso do CMU, parte dos ensaios foi realizada tanto no concreto original quanto no concreto do encamisamento, possibilitando a avaliação comparativa do comportamento dos materiais ao longo do tempo. Os resultados dessas campanhas fundamentaram a atualização do Plano de Manutenção, a revisão das prioridades de intervenção e a incorporação de novas técnicas e produtos, conforme discutido nos itens subsequentes.

5. QUADROS PATOLÓGICOS E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

A análise dos quadros patológicos observados nas estruturas portuárias de Suape evidencia que, embora submetidas ao mesmo ambiente marinho e concebidas para a mesma finalidade operacional, estruturas projetadas em contextos normativos distintos apresentam respostas significativamente diferentes ao longo do tempo. Para fins de discussão, o CMU é tomado como representativo das estruturas projetadas na década de 1980, enquanto o Cais 4 representa o contexto normativo e construtivo consolidado a partir dos anos 2000, sintetizando as diferenças de desempenho entre essas gerações.

Em ambas as estruturas, o mecanismo de degradação predominante é a corrosão das armaduras induzida pela penetração de cloretos, característica esperada em ambiente marinho. As

manifestações patológicas associadas a esse mecanismo incluem fissuração na projeção das barras, desplacamento do concreto de cobrimento e exposição das armaduras.

No CMU, inaugurado em 1986, a degradação se manifestou de forma mais difusa ao longo do tempo, refletindo as limitações inerentes ao contexto normativo da época, associado a concretos de menor resistência à compressão, cobrimentos mais modestos e maior permeabilidade. As inspeções realizadas na década de 2000 evidenciaram a presença de sinais de corrosão em aproximadamente 94 % das vigas longarinas e em 100 % das intersecções entre vigas longitudinais e transversais, com maior incidência também na face inferior das vigas longitudinais. Esses quadros motivaram intervenções de recuperação, sem que se observasse comprometimento da estabilidade estrutural, conforme demonstrado pelas análises estruturais apresentadas no item anterior.

Durante as campanhas de recuperação do CMU, verificou-se que, apesar dos cobrimentos médios da ordem de 3,0 cm nas vigas e 3,5 a 5,0 cm nas lajes, a contaminação por cloretos havia atingido profundidades superiores às armaduras em diversos pontos, exigindo a substituição localizada de aço e a remoção do concreto deteriorado. Esse histórico contribuiu para a compreensão do caráter progressivo da degradação e para o aprimoramento das estratégias de manutenção adotadas posteriormente.

Em contraste, o Cais 4, projetado sob a égide da ABNT NBR 6118:2003 (ABNT, 2003), apresentou um quadro patológico de menor severidade. Diferentemente do observado no CMU, o Cais 4 foi acompanhado por campanhas de inspeção precoces, com a primeira avaliação realizada cerca de cinco anos após o início de sua operação. Os ensaios iniciais indicaram a presença de cloretos predominantemente nas camadas mais superficiais do concreto, com teores inferiores ao limiar crítico na profundidade das armaduras, além de carbonatação incipiente.

A evolução desse quadro foi monitorada ao longo do tempo por campanhas sucessivas de inspeção e ensaios. As medições de potencial de corrosão evidenciaram a coexistência de regiões com probabilidade de corrosão incerta e pontos localizados com maior probabilidade de corrosão, sem a configuração de um quadro difuso semelhante ao observado no CMU. De forma consistente, os ensaios confirmaram a manutenção de teores de cloretos abaixo do crítico na profundidade das armaduras, enquanto a carbonatação avançou de forma gradual, atingindo profundidade média da ordem de 1,1 cm. Observou-se que as regiões mais vulneráveis no Cais 4 estavam associadas a fissuras por retração, especialmente em longarinas e no pavimento, favorecendo o avanço localizado da carbonatação, o aporte de cloretos e a presença de umidade. Ainda assim, a comparação entre as campanhas indicou baixo avanço global do quadro patológico, mantendo-se o caráter localizado das anomalias ao longo do período analisado.

A comparação entre o CMU e o Cais 4 demonstra que estruturas com a mesma finalidade operacional, quando projetadas sob diferentes contextos normativos e parâmetros de durabilidade, não apresentam a mesma dinâmica de degradação, mesmo sob condições ambientais semelhantes. No CMU, a combinação de concretos de menor desempenho e ausência de medidas de proteção incorporadas ao projeto original resultou em quadros mais amplos de degradação ao longo do tempo. No Cais 4, os parâmetros de projeto mais rigorosos e o acompanhamento precoce permitiram controlar a evolução dos danos, viabilizando uma abordagem baseada em monitoramento contínuo e intervenções mais seletivas. Essas diferenças de comportamento reforçam que os grupos de estruturas, embora funcionalmente equivalentes, exigem estratégias diferenciadas de manutenção, diretamente condicionadas pelos níveis de resistência do concreto, espessuras de cobrimento e contexto normativo de projeto.

6. ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DE MANUTENÇÃO

A estruturação do Sistema de Gestão da Manutenção das estruturas portuárias de Suape teve início com a elaboração de um manual técnico de padronização, desenvolvido concomitantemente à primeira emissão do Plano de Manutenção. Esse manual teve como objetivo estabelecer critérios comuns de análise e diagnóstico, assegurando consistência técnica nas inspeções e nas decisões de manutenção ao longo do tempo, independentemente das equipes envolvidas.

O documento consolidou os conceitos técnicos adotados nas inspeções e análises, contemplando aspectos relacionados ao desempenho das estruturas ao longo do tempo, à definição dos mecanismos de degradação relevantes em ambiente marinho e à influência dos microclimas locais sobre a evolução dos danos. Foram também estabelecidas diretrizes para a realização de inspeções e ensaios, bem como para a caracterização das condições estruturais, de modo a permitir a comparação entre diferentes campanhas e a identificação de tendências de degradação.

Como parte dessa padronização, o manual adotou os princípios da série EN 1504 como referencial para a definição dos objetivos das intervenções e para a seleção dos métodos de reparo e proteção do concreto, sem caráter prescritivo. Adicionalmente, foram definidos os tipos de inspeção aplicáveis às estruturas do complexo e os critérios de avaliação das condições estruturais e de priorização das intervenções, fornecendo uma base técnica comum para o planejamento da manutenção. Esse conjunto de definições permitiu estruturar a gestão da manutenção de forma sistemática e previsível, fornecendo suporte técnico às decisões ao longo do tempo e viabilizando a transição de uma abordagem predominantemente reativa para um modelo planejado, compatível com a diversidade de estruturas, idades e condições de exposição existentes em Suape.

7. ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO E MANUTENÇÃO

As estratégias de intervenção e manutenção estabelecidas para Suape foram definidas a partir da análise dos seus diferentes grupos de estruturas, representativos de distintos contextos normativos, idades e dinâmicas de degradação. Inicialmente, foi desenvolvido um Plano de Manutenção com especificações técnicas para cada estrutura, considerando suas distinções construtivas, níveis de exposição e estágio de deterioração. Na atualização do Sistema de Gestão, as especificações foram consolidadas em apenas um documento, buscando-se facilitar a logística de recuperação, mas mantendo o direcionamento de procedimentos para casos particulares sempre que preciso.

No processo de formulação do plano, as especificações de manutenção preventiva e corretiva foram orientadas pelos mecanismos de degradação predominantes, com ênfase na corrosão das armaduras induzida por cloretos. Para estruturas mais antigas, com quadros mais difusos, fora previstas mais ações voltadas à reabilitação de elementos e à mitigação da progressão da corrosão. Para estruturas mais recentes, as ações preventivas assumem maior peso.

Diferentes soluções de controle da corrosão foram efetivamente testadas em campo, fundamentando as estratégias adotadas. Entre essas soluções incluem-se o emprego em reparos, em diversas combinações, de concreto com e sem inibidor de corrosão incorporado, de pastilhas galvânicas convencionais, de inibidores por aspersão, malhas galvânicas e sistemas de proteção superficial. Observou-se que os melhores resultados estiveram associados aos sistemas formados pela combinação de malha galvânica, encamisamento com concreto, aspersão de inibidor e proteção superficial. Entretanto, essas soluções mostraram-se invasivas e de execução complexa,

além de apresentarem desempenho não replicável em regiões onde a malha galvânica não estava presente em todo o conjunto estrutural. Em áreas fortemente corroídas, as soluções baseadas apenas em reparo associado à proteção superficial apresentaram desempenho aquém da expectativa, e as pastilhas galvânicas convencionais revelaram-se insatisfatórias, com falhas localizadas e ocorrência de *pop-out*.

Paralelamente a essas experiências práticas, a proteção catódica por corrente impressa foi analisada conceitualmente, mas não foi testada em campo, tendo sido descartada como solução generalizada em função de condicionantes técnicas relevantes, como (a) a presença de reação álcali-agregado, que pode ser acelerada por alterações no meio alcalino, (b) a existência de elementos de concreto protendido, com riscos associados à geração de hidrogênio, (c) risco de incompatibilidade com os sistemas já implantados e (d) especificidades em relação ao detalhamento das armaduras existentes.

Na revisão do Plano de Manutenção realizada em 2020, optou-se pela elaboração de projetos de proteção catódica galvânica aplicados a determinados elementos estruturais, dimensionada considerando as áreas superficiais reais das armaduras embutidas e os níveis de cloretos identificados nos ensaios. Foram especificados ânodos de maior capacidade, com dimensões típicas de 38 mm × 83 mm × 1000 mm, massa anódica da ordem de 3 kg por unidade e vida útil de 20 anos, compatível com os objetivos de durabilidade estabelecidos no plano. Essa solução permitiu uma atuação localizada e compatível com o comportamento das estruturas, sem interferir de forma significativa no equilíbrio eletroquímico global.

Além das especificações técnicas passo a passo para recuperação de concreto e armaduras, tratamento de fissuras e juntas, recomposição de elementos complementares, entre outros, passaram a ser especificados sistemas de proteção superficial mais atuais, incluindo produtos à base de cristalizantes cimentícios, hidrofugantes à base de silano e revestimentos poliméricos permeáveis ao vapor, com o objetivo de reduzir o ingresso de agentes agressivos e umidade, respeitando as condições higroscópicas do concreto existente. Essas soluções foram selecionadas de forma compatível com o histórico das estruturas e com os mecanismos de degradação predominantes, evitando abordagens genéricas e mantendo-se alinhadas às normas europeias EN 1504.

De forma geral, as estratégias consolidadas no Plano de Manutenção refletem a compreensão de que a especificação de intervenções deve estar diretamente vinculada ao diagnóstico e ao aprendizado acumulado com o comportamento real das estruturas, e não à aplicação indiscriminada de soluções padronizadas.

8. CONCLUSÃO

O presente artigo teve como objetivo analisar as diferenças nos quadros patológicos de estruturas portuárias projetadas em distintos contextos normativos, discutindo como os diferentes diagnósticos fundamentaram a formulação de um Plano de Manutenção e de especificações técnicas aplicáveis ao conjunto das estruturas portuárias de Suape.

As análises evidenciaram que, embora submetidas ao mesmo ambiente marinho agressivo, estruturas projetadas em diferentes contextos normativos e tecnológicos apresentam dinâmicas distintas de degradação ao longo do tempo. O mecanismo de degradação predominante observado foi a corrosão das armaduras induzida por cloretos, porém sua velocidade de progressão,

profundidade de contaminação e impacto operacional variaram de forma significativa entre as diferentes gerações construtivas.

O estudo demonstrou que a interpretação dos quadros patológicos por grupos de estruturas, representativos de épocas de projeto, parâmetros de durabilidade e níveis de desempenho do concreto, foi fundamental para a compreensão do comportamento global do sistema portuário. As diferenças foram ilustradas pelo CMU, cais projetado na década de 1980, e pelo Cais 4, projetado na década de 2000.

A partir desse diagnóstico por grupos, o artigo evidenciou que a formulação de estratégias de manutenção eficazes depende menos da aplicação isolada de soluções consagradas e mais da avaliação crítica de seu desempenho no contexto específico das estruturas. A experiência acumulada ao longo das campanhas de inspeção e das intervenções anteriores demonstrou, por exemplo, que soluções pontuais ou aplicadas de forma não integrada tendem a apresentar desempenho limitado em estruturas com quadros patológicos mais difusos, enquanto abordagens combinadas, embora tecnicamente mais eficientes, podem se mostrar excessivamente invasivas e de difícil replicação. Esse aprendizado técnico foi determinante para a evolução das especificações adotadas no Plano de Manutenção, orientando a seleção de soluções compatíveis com os mecanismos de degradação identificados e com as particularidades construtivas das estruturas.

Como resultado direto desse processo, o trabalho consolidou um Plano de Manutenção Preventiva e Corretiva e um conjunto de especificações técnicas estruturadas, fundamentadas em inspeção sistemática, diagnóstico aprofundado e revisão crítica das alternativas disponíveis. As especificações técnicas, portanto, refletem decisões de engenharia orientadas pelo comportamento real das estruturas, permitindo direcionar as ações de manutenção de forma seletiva, tecnicamente justificada e alinhada aos objetivos de durabilidade estabelecidos para o complexo portuário.

Sob a ótica da gestão de ativos, os resultados apresentados estão em consonância com recomendações internacionais, como as do *Pacific Region Infrastructure Facility* (PRIF), que destacam que a maior parcela do custo de um ativo de infraestrutura ao longo de sua vida útil está associada às decisões de operação e manutenção, e não à fase inicial de construção (PRIF, 2021). A experiência de Suape demonstra, na prática, que investimentos contínuos em inspeção, diagnóstico e planejamento de manutenção constituem instrumento efetivo de preservação do capital investido, reduzindo a necessidade de intervenções emergenciais de grande porte e contribuindo para maior estabilidade no fluxo de recursos ao longo do tempo.

Nesse contexto, a estruturação de um sistema contínuo de inspeção, diagnóstico e planejamento da manutenção evidencia uma postura institucional voltada à gestão responsável da infraestrutura portuária, compatível com a relevância estratégica do porto e com as exigências atuais de confiabilidade e sustentabilidade dos ativos. A consolidação do Plano de Manutenção e das especificações técnicas associadas reforça a capacidade do complexo em garantir a integridade estrutural, a continuidade operacional e a atratividade de seus ativos, nos quais a previsibilidade do desempenho da infraestrutura constitui fator decisivo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe do Complexo Industrial Portuário de Pernambuco pela autorização para divulgação dos dados e por toda a parceria desenvolvida ao longo dos anos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 19782**: Investigação de estruturas de concreto — Inspeção e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). **Estatístico Aquaviário**. Brasília, DF: ANTAQ, 2026. Disponível em: https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/Relatorio.html#pt. Acesso em: 15 mar. 2026.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Suape geral 2 1.jpg**. 2014. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/centrais-de-conteudo/suape-geral-2-1-jpg/view. Acesso em: 13 mar. 2026.

BRASIL. Ministério de Portos e Aeroportos. **Estudos e Pesquisas**: transporte aquaviário. Brasília, DF: Ministério de Portos e Aeroportos, 31 jul. 2020. Atualizado em: 8 jul. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/transporte-aquaviario/estudos-e-pesquisas. Acesso em: 15 mar. 2026.

BRASIL. **Tribunal de Contas da União.** *Acórdão nº 3222/2014 – Plenário.* Relator: Marcos Bemquerer. Brasília, DF, sessão de 19 nov. 2014a. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/doc/acordao-completo/3222/2014/Plen%C3%A1rio>. Acesso em: 13 mar. 2026.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 1504-9**: Products and systems for the protection and repair of concrete structures: definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity: part 9: general principles for the use of products and systems. Brussels: CEN, 2008.

GOOGLE EARTH PRO. Imagem de satélite do Complexo Industrial Portuário de Pernambuco (Suape). [S.l.]: Google, 2025. Disponível em: https://earth.google.com/. Acesso em: 13 mar. 2026.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. *In*: ISAIA, Geraldo Cechella (ed.). **Concreto**: ciência e tecnologia. São Paulo: Ibracon, 2011. v. 1, cap. 22, p. 773-808.

PACIFIC REGION INFRASTRUCTURE FACILITY (PRIF). **Pacific Infrastructure Maintenance Benchmarking Report**: 2021 baseline assessment. Sydney: PRIF, 2021.

SUAPE. **[Navio atracado no PGL 2]**. 2021. Disponível em: https://www.suape.pe.gov.br/pt/noticias/1325-porto-de-suape-registra-70-de-crescimento-na-movimentacao-de-cargas-em-fevereiro. Acesso em: 22 maio 2024.

SUAPE. Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros. **Galeria de Imagens**: Porto Organizado. Ipojuca: Suape, 2024. Disponível em: https://www.suape.pe.gov.br. Acesso em: 15 mar. 2026.

CAPÍTULO 103 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/mzffvm44
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/w969rk04

AVANÇOS NO DIAGNÓSTICO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: REVISÃO DA LITERATURA

Diogo Britto[1]*, Nicole Nascimento[2]*; Camila Silva[3]; Hildo Santiago Filho[4]; Marcelo Medeiros[5] e Antônio Acácio de Melo Neto[6]
*Autor de contato: nicolenascimentoeng@gmail.com

[1, 2, 3 e 4] Centro de Tecnologia e Comunicação, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil
[5] CESEC-UFPR e LaME-DCC-UFPR, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil
[2 e 6] Laboratório de Tecnologia dos Aglomerantes - LabTag, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil

RESUMO

A durabilidade das estruturas de concreto armado depende da prevenção e do adequado tratamento das manifestações patológicas. Entre elas destaca-se a Reação Álcali-Agregado (RAA), resultante da interação entre agregados reativos, álcalis do cimento e umidade (além de outros fatores intervenientes), que gera um gel expansivo responsável pela fissuração do concreto. No Brasil, diversos casos foram identificados a partir dos anos 2000, especialmente em blocos de coroamento de edifícios, com manifestações ocorrendo poucos anos após a construção. Esse cenário impulsionou pesquisas e a elaboração da ABNT NBR 15577, voltada à prevenção da reação. Entretanto, ainda não há consenso sobre o diagnóstico em estruturas já afetadas. Assim, este trabalho propõe um fluxograma de análise e diagnóstico da RAA, baseado em revisão bibliográfica, organizando ensaios segundo as informações fornecidas sobre mineralogia, composição química, fissuração, expansão e propriedades mecânicas do concreto. A proposta busca contribuir para diagnósticos mais claros e decisões mais seguras na avaliação de estruturas afetadas.
Palavras-chave: reação álcali-agregado; reação álcali-sílica; diagnóstico; ensaios; microestrutura.

ABSTRACT

The durability of reinforced concrete structures depends on the prevention and proper treatment of pathological manifestations. Among these, the Alkali-Aggregate Reaction (AAR) stands out, resulting from the interaction between reactive aggregates, cement alkalis, and moisture (among other contributing factors), which produces an expansive gel responsible for concrete cracking. In Brazil, several cases have been identified since the 2000s, especially in building pile caps, with manifestations occurring only a few years after construction. This scenario has stimulated research and led to the development of ABNT NBR 15577, aimed at preventing this reaction. However, there is still no consensus regarding the diagnosis of structures already affected. Thus, this study proposes a flowchart for the analysis and diagnosis of AAR, based on a literature review, organizing tests according to the information they provide on mineralogy, chemical composition, cracking, expansion, and mechanical properties of concrete. The proposal aims to contribute to clearer diagnoses and safer decision-making in the assessment of affected structures.
Keywords: alkali-aggregate reaction; alkali-silica reaction; diagnosis; tests; microstructure.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, e sua durabilidade é um requisito fundamental de projeto, com vida útil mínima geralmente estimada em 50 anos. Para garantir esse desempenho, é necessário prevenir mecanismos de deterioração, como lixiviação, carbonatação, ataque por sulfatos, reação álcali-agregado (RAA), entre outros. Essa reação deletéria pode ocorrer em diversas estruturas, como usinas, barragens, pontes, pavimentos e blocos de fundação, gerando expansões internas e elevados custos de manutenção e reforço estrutural.

A reação álcali-agregado foi identificada na década de 1940 nos Estados Unidos por Holden e Stanton, sendo posteriormente estudada no Brasil por Heraldo Gitahy. Inicialmente associada a grandes obras, como barragens, o colapso do edifício Areia Branca em Recife, em 2004, intensificou as inspeções em fundações, revelando diversos casos da reação em edificações. Diferentemente de ocorrências típicas de evolução lenta, algumas estruturas na cidade apresentaram fissuração atribuída à RAA cerca de três anos após a construção (COUTO, 2008; SANCHEZ, 2008).

Esse mecanismo deletério ocorre devido à reação química entre os hidróxidos alcalinos Na^+, K^+ e o hidróxido OH^-, encontrados principalmente no cimento, agregados reativos contendo sílica amorfa ou metaestável (ou também tensionada, certos tipos de vidros vulcânicos e artificiais), e a presença de umidade, resultando na fissuração do elemento e o comprometimento de sua função estrutural, devido à redução de seu módulo de elasticidade, resistência e estanqueidade, o que facilita a entrada de agentes agressivos e acelera o processo de deterioração da estrutura (HASPARYK, 2005; SANCHEZ, 2008; ANDRADE, 2008; LANGARO, 2023).

Há dois tipos principais de RAA, a reação álcali-sílica (RAS), mais comum, e a reação álcali-carbonato, que ocorre entre álcalis e certos calcários dolomíticos argilosos, formando brucita expansiva. A NBR 15577-1 (ABNT, 2018) também menciona a reação álcali-silicato, semelhante à RAS, porém de desenvolvimento mais lento. Essas reações podem ocorrer simultaneamente devido à presença de diferentes minerais reativos nos agregados, o que dificulta seu diagnóstico (Hobbs, 1998 apud COUTO, 2008; FRARE, 2022; MASCIOSKY, 2023).

Foi possível constatar que o desenvolvimento e a intensidade da RAA são influenciados por diversos fatores, como o teor de álcalis no cimento, umidade, temperatura, composição mineralógica e dimensão dos agregados, além do fator água/cimento, presença de adições e condições de carregamento do elemento estrutural (GLASSER, 1992 apud HASPARYK, 2005; TAYLOR, 1997; HASPARYK, 2005; COUTO, 2008).

Estima-se que cerca de 60% das obras no Brasil não realizam ensaios laboratoriais para prevenção da reação álcali-sílica (RAS), enquanto cresce o número de estruturas jovens, entre 5 e 10 anos, diagnosticadas com essa degradação. Além disso, ainda não há consenso sobre os métodos mais adequados de análise e recuperação, devido à dificuldade de correlacionar os sintomas observados com a evolução da reação nas estruturas (MACIOSKI, 2023; SANCHEZ, 2016; MARANHÃO, 2021; LANGARO, 2023).

O diagnóstico da reação álcali-sílica (RAS) inicia-se com inspeção visual em campo, identificando manifestações como fissuras em padrão de mapa, fissuras orientadas em concreto armado, deslocamentos, deformações, desplacamentos e coloração amarronzada próxima às fissuras. A exsudação de gel esbranquiçado nas fissuras é considerada o único indicativo definitivo da reação (SANCHEZ, 2008; FIGUEIRA et al., 2019; FHWA-HIF-12-022, 2012; HASPARYK, 2022).

Segundo Mizumoto (2009), a presença da reação álcali-agregado pode ser verificada em campo por métodos complementares, destacando-se o método das manchas com cobaltonitrito de sódio e rodamina B, que permite identificar a reação e diferenciá-la de outros processos, como carbonatação e etringita tardia. Esse método pode ser aplicado diretamente na estrutura ou em testemunhos, facilitando a avaliação local da reação (SANCHEZ, 2008; MIZUMOTO, 2009).

De acordo com Figueira et al. (2019), quando a inspeção visual indicar suspeita de reação álcali-sílica (RAS) devem ser retirados testemunhos de diferentes regiões da estrutura e coletadas

informações relevantes, como idade da obra, origem dos agregados, composição do concreto, histórico de manutenção, projetos estruturais e data de surgimento dos primeiros sinais de degradação.

Métodos não destrutivos, como o ensaio de propagação de ondas, permitem identificar microfissurações internas no concreto e estimar o módulo de elasticidade dinâmico, auxiliando em avaliações rápidas da rigidez do material, embora apresentem menor precisão que métodos estáticos (SILVA et al., 2023; RIBEIRO et al., 2022).

Barreto (2019) observou que o ensaio de velocidade de onda ultrassônica possui baixa sensibilidade para detectar a reação álcali-agregado, enquanto a técnica de ressonância forçada se mostrou mais eficaz, pois a frequência de ressonância diminui mesmo sem sinais visíveis de expansão.

O ensaio NIRAS (Nonlinear Impact Resonance Acoustic Spectroscopy) também tem sido utilizado como método não destrutivo, apresentando capacidade de detectar quantitativamente fissurações iniciais e heterogeneidades no concreto (FHWA-HRT-13-085).

Técnicas microscópicas, especialmente o ensaio petrográfico em microscópio óptico, são fundamentais para o diagnóstico da RAA, pois permitem identificar minerais reativos e visualizar o gel da reação na zona de transição pasta-agregado e nos poros do concreto. E ao utilizar lupa estereoscópica é possível verificar a colmatação dos poros e as bordas da reação (SANCHEZ, 2008; MACIOSKI, 2023; SILVA et al., 2023).

Embora o ensaio petrográfico seja representativo para identificação da reação álcali-agregado, técnicas complementares como MEV/EDS e DRX são utilizadas para caracterizar a microestrutura e os componentes da reação. O MEV permite obter imagens de alta resolução da superfície da amostra, enquanto o EDS possibilita identificar a composição química das fases analisadas por meio do espectro de energia dos elementos presentes (ANDRADE et al., 2006; HASPARYK, 2005).

A resistência à compressão não é um parâmetro confiável para identificar a reação álcali-agregado, pois a formação inicial de gel pode colmatar poros e até aumentar temporariamente a resistência. Em contrapartida, o módulo de elasticidade pode sofrer reduções significativas devido à microfissuração interna, sendo um indicador mais sensível da deterioração do concreto (HASPARYK, 2005; SANCHEZ, 2008; NASCIMENTO, 2020; MACIOSKI, 2023; RIBEIRO et al., 2022).

Estruturas reais afetadas pela reação álcali-agregado apresentam restrições à expansão devido ao confinamento estrutural, presença de armaduras e carregamentos atuantes. Ensaios experimentais mostram que elementos confinados podem apresentar maior resistência à compressão que corpos de prova livres, evidenciando a influência do confinamento e a dificuldade de avaliar os efeitos reais da reação em estruturas de concreto (FIGUEIROA e ANDRADE, 2007; MAJLESI et al., 1994 apud BARRETO, 2019).

A expansão residual de testemunhos pode ser avaliada por adaptações dos ensaios AMBT (barras de argamassa) ou CPT (prismas de concreto). O AMBT, normatizado pela ABNT NBR 15577-4 (2018), é acelerado e amplamente utilizado, mas apresenta controvérsias devido à possibilidade de falsos positivos ou negativos decorrentes das condições agressivas do ensaio (SANCHEZ, 2008). Em relação ao CPT possui maior confiabilidade por utilizar condições menos severas, embora exija maior tempo de execução. Estudos também indicam que fatores como posição de extração dos testemunhos e condições de umidade podem influenciar os resultados de expansão (PEDERSEN, 2016; RIBEIRO et al., 2022; MULTON et al., 2008).

Outra técnica que contribui para o diagnóstico da reação é o SDT (Stiffness Damage Test, ou Teste de Dano da Rigidez) avalia a deterioração do concreto causada por reações expansivas, identificando a perda de rigidez e o aumento de descontinuidades internas decorrentes da fissuração provocada pela RAA conforme estudado por Sanchez et al. (2017 e 2018) e estudo de FURNAS (2021). Já o Damage Rating Index (DRI) ou Índice de Classificação de Danos, realiza análise

microscópica da fissuração em seções polidas de concreto, permitindo estimar o grau de deterioração interna e identificar padrões de dano associados à reação (MACIOSKY, 2023; LANGARO, 2023; FURNAS, 2021).
Diante da complexidade da reação álcali-agregado, seu diagnóstico exige a integração de diferentes métodos, como inspeção visual, ensaios laboratoriais, técnicas não destrutivas e análises microestruturais. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma sistematização das principais metodologias de análise e diagnóstico da RAA em estruturas de concreto.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho consistiu em uma revisão bibliográfica aprofundada, com foco na identificação e análise das principais técnicas de diagnóstico aplicáveis a estruturas de concreto afetadas pela reação álcali-agregado (RAA). As buscas foram realizadas nas bases de dados Google Acadêmico, ScienceDirect, Scielo, além dos periódicos especializados da Alconpat e ICAAR, e das normas técnicas da ABNT, especialmente a série NBR 15577.
As chaves de busca foram estruturadas utilizando o operador booleano AND para a interseção de termos e OR para sinônimos. Foram pesquisados, nos idiomas português e inglês, termos como: "Reação álcali-agregado", "Reação álcali-sílica", "Reações expansivas", "Concreto", "Diagnóstico", "Análise", "Ensaios não destrutivos", entre outros.
O processo metodológico envolveu a seleção de artigos e documentos normativos publicados nos últimos vinte anos, com base na leitura crítica de títulos, resumos e palavras-chave relacionadas à RAA, ensaios de diagnóstico e patologias do concreto. Os trabalhos selecionados foram organizados em uma planilha para extração de dados relevantes, categorizados por tipo de método (visual, físico, químico, microscópico ou mecânico) e sua aplicação prática. A partir dessa sistematização, foi elaborado um fluxograma e uma tabela síntese com os métodos analisados, seguidos de uma discussão sobre sua aplicabilidade em diferentes contextos estruturais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão bibliográfica permitiu identificar e organizar os principais métodos utilizados para o diagnóstico da reação álcali-agregado em estruturas de concreto. As técnicas foram classificadas conforme sua abordagem (visual, física, química, microscópica, mineralógica e mecânica) evidenciando que o diagnóstico confiável geralmente depende da combinação de diferentes métodos complementares.
Com base nesse levantamento, apresenta-se, a seguir, o Quadro 1 que sintetiza os métodos analisados e um fluxograma representativo do processo investigativo recomendado na literatura.

Quadro 1 - Síntese dos métodos analisados

Método	Tipo	Indicador	Comentário
Inspeção Visual	Visual	Fissuras em padrão de mapa, desplacamento, coloração amarronzada, exsudação de gel esbranquiçado	A presença de gel é um sinal inequívoco da reação

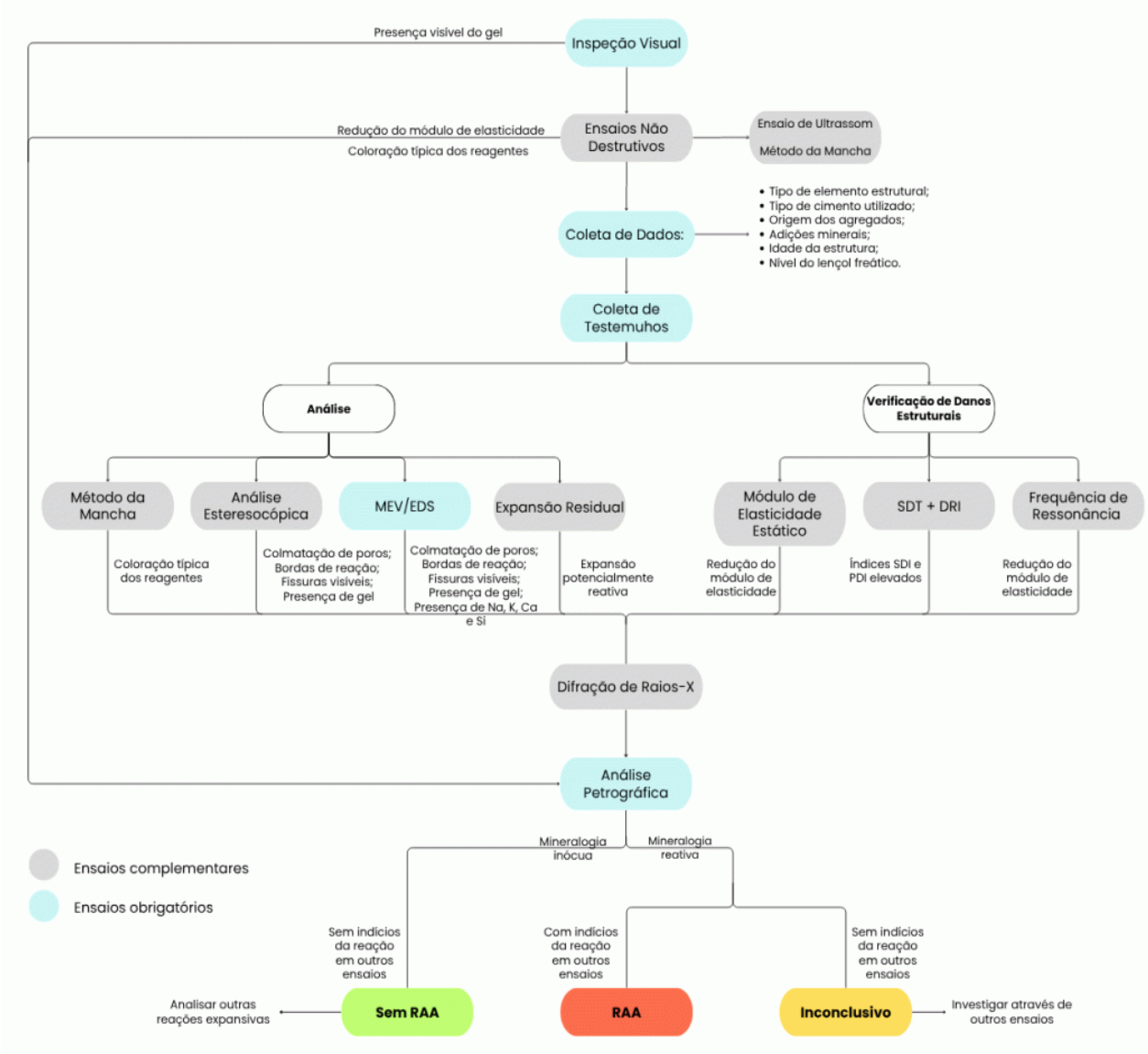
Método da Mancha	Químico/ Visual	Coloração diferencial entre regiões reativas e inertes após aplicação de reagentes	O método da mancha é o mais recomendado quando comparado a outros métodos colorimétricos
Ensaios Não Destrutivos Acústicos	Físico	Módulo de elasticidade dinâmico abaixo do esperado ou não linearidade do concreto	Indica a redução da rigidez devido a descontinuidades e fissuração interna
Ensaio Petrográfico	Microscópico/Mineralógico	Presença de fases minerais reativas, bordas de reação, colmatação dos poros, gel esbranquiçado	Fundamental para confirmar a reação
Expansão Residual	Expansivo	Expansão acima do limite do ensaio	Ensaios de expansão adaptados
MEV com EDS	Microscópico	Identificação de gel com elementos como Na, K, Si e Ca	Permite confirmação microestrutural da presença do gel de sílica alcalina
DRX	Mineralógico	Identificação de minerais reativos (opala, quartzo deformado etc.)	Complementar ao ensaio petrográfico
Módulo de Elasticidade Estático	Mecânico	Módulo de elasticidade estático abaixo do esperado	Quantifica a perda de rigidez mecânica total no estado atual do concreto
SDT - Stiffness Damage Test	Mecânico	Índices de dano por rigidez (SDI) e deformação plástica (PDI) elevados	Indica a perda de rigidez e a deformação permanente acumulada
DRI - Damage Rating Index	Microscópico	Índices elevados	Baseado na contagem de fissuras e manifestações típicas em amostras polidas

Fonte: Os autores (2026).

3.1 Fluxograma de diagnóstico

Com base na revisão bibliográfica das principais metodologias de diagnóstico da reação álcali-agregado (RAA) em estruturas de concreto, foi possível organizar um fluxograma representativo do processo investigativo recomendado pela literatura (Figura 7). Esse esquema visa facilitar a compreensão do encadeamento lógico entre a inspeção visual, os métodos de análise laboratorial e a verificação de danos estruturais, auxiliando na classificação final do quadro patológico.

Figura 7 - Fluxograma de Diagnóstico da Reação Álcali-Agregado (RAA) em estruturas de concreto



Fonte: Os autores (2026).

3.2 Recomendações para o diagnóstico

Com base nos fatores econômicos, não é pertinente utilizar todos os métodos estudados para obter a certeza do diagnóstico da reação. Logo, como não existe até o momento desse trabalho uma metodologia normatizada, faz-se questão de um profissional experiente para a correta avaliação do caso, com base nos conhecimentos técnicos difundidos pela comunidade científica. A seguir foram elencadas algumas convergências entre os autores:

- A inspeção visual é fundamental, pois pode indicar instantaneamente possíveis manifestações da RAA, como fissuras em padrão de mapa, exsudação de gel e desplacamentos superficiais. Em campo, o método das manchas, como descrito por Mizumoto (2009), pode ser empregado para evidenciar a presença de produtos da reação. Apesar de ser um método qualitativo e complementar, ele é útil como ferramenta orientativa

e pode ser aplicado sem a extração de testemunhos. No entanto, ele não substitui análises microestruturais;

- De acordo com Silva et al. (2023) e Barreto (2019), os métodos não destrutivos acústicos se apresentam como uma verificação rápida e eficaz do estado de conservação e dos danos sofridos pela matriz do concreto. Entretanto, sua capacidade de diagnosticar a reação álcali-agregado ainda está sendo debatida, sendo o método de ressonância forçada o mais eficaz entre os ensaios citados. Em síntese, cada ensaio oferece vantagens específicas: o ultrassom é rápido, a ressonância forçada é sensível à RAA e o NIRAS destaca-se na detecção precoce de microdanos em diferentes configurações de ensaio;
- O resultado da mineralogia do agregado é um dos fatores necessários à análise da reação, e a petrografia se mostrou essencial para o diagnóstico preciso. Como comprovado por Maciosky (2024) ao realizar uma comparação às técnicas de análise termogravimétrica (ATG), análise térmica diferencial (DTA), espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) e difração de raios X (DRX), o ensaio petrográfico demonstrou o maior potencial de identificação de fases minerais reativas. Devido a isso, diversos autores, assim como Maranhão (2021), consideram que a combinação entre o ensaio petrográfico e o MEV/EDS já configura um resultado seguro da reação;
- Os ensaios de expansão adaptados, embora bastante utilizados, ainda geram discussões na comunidade científica. Para a rápida obtenção do resultado, o AMBT adaptado é muitas vezes escolhido para o diagnóstico, porém, cada vez mais estudos, como os de Langaro (2023) e Sanchez (2008) demonstram divergências de resultados quando comparados com testes de maior duração e confiabilidade, como o CPT. Mizumoto (2009) aponta que o CPT a 60 oC é uma boa solução, pois apresenta mais precisão dos resultados em menos tempo que o CPT tradicional;
- Por fim, Sanchez (2016), Langaro (2023) e Maciosky (2023) demonstraram que os ensaios de SDT e DRI tem apresentado resultados satisfatórios na confirmação da RAS e na avaliação do grau de degradação do concreto.

Os resultados evidenciam que, apesar dos avanços no entendimento dos mecanismos da reação e no desenvolvimento de técnicas de investigação, ainda não existe um protocolo único e amplamente normatizado para o diagnóstico da RAA em estruturas existentes. Nesse contexto, observa-se um consenso crescente na literatura quanto à necessidade de combinar diferentes métodos de análise, de modo a aumentar a confiabilidade do diagnóstico e reduzir a possibilidade de interpretações equivocadas decorrentes da análise isolada de um único ensaio.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo criar um guia de análise e diagnóstico de estruturas de concreto armado deterioradas pela reação álcali-agregado com base em revisão de literaturas dos últimos 20 anos. Apesar de não existir uma só metodologia adotada devido às discordâncias entre pesquisadores sobre certos mecanismos da reação deletéria, o guia foi criado com base nos padrões que já foram aceitos e comprovados por um grande número de trabalhos.

A partir da sistematização das informações obtidas, foi possível propor um fluxograma de diagnóstico que organiza de forma lógica e sequencial as etapas de investigação da reação, iniciando-se pela inspeção visual e avançando para métodos laboratoriais e análises microestruturais quando necessário. Essa ferramenta busca facilitar a tomada de decisão técnica durante processos de inspeção e avaliação estrutural, contribuindo para a identificação mais precisa da reação e para o planejamento de intervenções adequadas.

Dessa forma, o guia proposto constitui uma contribuição prática para profissionais da área de patologia e durabilidade do concreto, oferecendo uma referência estruturada para a condução de investigações em estruturas potencialmente afetadas pela RAA.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, T.; SILVA, J. J. R.; ALMEIDA, R.; FIGUIERÔA, J. P.; KIHARA, Y.; PECCHIO, M., 2006. **Diagnóstico de reação álcali-agregado em blocos de fundação de um edifício público situado na Cidade de Recife/PE**, IBRACON, RAA-2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR-15577-1: Agregados - Reatividade álcali-agregado-Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15577-3:2018: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15577-4:2018: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15577-6:2018: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C856-04**. Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2004.

BARRETO, A. M. **Técnicas não destrutivas para detecção da reação álcali-agregado em prismas de concreto**, 2019.

COUTO, T. A. **Reação álcali-agregado: estudo do fenômeno em rochas silicosas**. 2008. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). **Alkali-Silica Reactivity Field Identification Handbook**. Washington, D.C.: FHWA, 2012. FHWA-HIF-12-022.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). **Accelerated Determination of ASR Susceptibility During Concrete Prism Testing Through Nonlinear Impact Resonance Ultrasonic Spectroscopy**. Washington, D.C.: FHWA, 2013. FHWA-HRT-13-085.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). **Methods for Evaluating and Treating ASR-Affected Structures: results of field application and demonstration projects**. Washington, D.C.: FHWA, 2014. FHWA-HIF-14-002.

FIGUEIRA, R. B. et al. **Alkali-silica reaction in concrete: Mechanisms, mitigation and test methods. Construction and building materials**, v. 222, p. 903-931, 2019.

FIGUEIRÔA, J. P. e ANDRADE, T. W. C. O. **O ataque da reação álcali-agregado sobre as estruturas de concreto**, p. 228. 2007.

FRARE, A. et al. **Revisão sistemática sobre reação álcali-agregado: panorama comparativo dos estudos realizados no Canadá e no Brasil**. Revista ALCONPAT, v. 13, n. 1, p. 1-27, 2022.

FURNAS - CENTRAIS ELÉTRICAS, S. A. **SDT - Método de ensaio para determinação do Índice de dano de rigidez (SDI) e Índice de deformação plástica (PDI) em concretos: Instrução Técnica ITDSBE001**. Rio de Janeiro: FURNAS, 2021.

HASPARYK, N. P.; KUPERMAN, S. C. **Reações expansivas deletérias no concreto**. CONCRETO & Construções, v. XLIX, n. 102, p. 49-55, 2021.

HASPARYK, N.P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel expansivo**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
LANGARO, E. A. **Estudo de diagnóstico e inibição da reação álcali-sílica utilizando cinza volante e proteção de superfície com silicatos**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2023.
MACIOSKI, G. **Aplicação de sensores em fibra ótica com rede de Bragg na avaliação da reação álcali-sílica**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, 2023.
MACIOSKI, G. et al. Reação álcali-sílica: ensaios complementares na identificação do potencial reativo de agregados. 65. Congresso Brasileiro do Concreto, 8 nov. 2024.
MARANHÃO, A.G.D. **Reação álcali-agregado: proposta para método de inspeção em edifícios prontos e diagnóstico rápido em elementos de fundação**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco, 2021.
MATOS, A. M. et al. **Alkali-reactivity of Pernambuco east shear zone coarse concrete aggregates: An experimental discussion**. Construction and Building Materials, v. 344, p. 128239, 27 jun. 2022.
MIZUMOTO, C. **Investigação da Reação Álcali-Agregado (RAA) em Testemunhos de Concreto e Agregados Constituintes**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2009.
MULTON, S.; BARIN, F. X.; GODART, B.; TOUTLEMONDE, F. **Estimation of the Residual Expansion of Concrete Affected by Alkali Silica Reaction**, 2008. Journal of Materials in Civil Engineering - J MATER CIVIL ENG. 20. 10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:1(54).
NASCIMENTO, N. P. S. **Diagnostic of concrete samples extracted from pile caps affected by internal swelling reactions**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco, 2020.
PEDERSEN, B. M.; WIGUM, B. J.; LINDGÅRD, J. **Influence Of Aggregate Particle Size On The Alkali-Silica Reaction - A Literature Review**. In: *Conference Paper*. 2016.
RIBEIRO, A. **Estudo Da Reação Álcali-Agregado Em Estruturas De Concreto**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá FUPAC, Ubá, 2021.
RIBEIRO, D. V. et al. **Proposta de avaliação da expansão residual proveniente da reação álcali-agregado (RAA) e do ataque por sulfatos em testemunhos de concreto**. CONCRETO & Construções, v. L, n. 106, p. 56-61, 2022.
SANCHEZ, L. F. **Contribuição Ao Estudo Dos Métodos De Ensaio Na Avaliação Das Reações Álcali-Agregado Em Concretos**. 170 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, 2008.
SANCHEZ, L. et al. **The Use Of The Damage Rating Index (DRI) For The Condition Assessment Of Aging Distressed Concrete.** 2016.
SILVA, R.R.C.; SALA, G. A.; ZANOVELLO, D. F. **Investigação e mitigação em blocos de fundações afetados pela reação álcali-agregado em edificação na Cidade de São Paulo**. ScientiaTec, v. 10, n. 1, 2023.
TAYLOR, H.F.W. **Cement Chemistry**. Book. 2nd edition Thomas Telford. 1997.

CAPÍTULO 104 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/1f98ec69
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/4p4b9303

FISSURAS POR RETRAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO

Esther Mignoni[1], Francieli Tiecher[2]*
*Autor de contato: francieli.bonsembiante@atitus.edu.br

[1] Escola Politécnica, Curso de Graduação em Engenharia Civil, ATITUS Educação, Passo Fundo, Brasil
[2] Escola Politécnica, Pós Graduação Stricto Sensu em Arquitetura e Urbanismo, ATITUS Educação, Passo Fundo, Brasil

RESUMO

O artigo analisou a ocorrência de fissuras em lajes de concreto armado de um edifício residencial em Passo Fundo (RS), com foco na retração plástica do concreto. A pesquisa envolveu inspeções técnicas, medições das fissuras, registros fotográficos e análise das condições de concretagem, cura e clima. Os resultados indicaram fissuras com aberturas entre 4,35 mm e 7,70 mm, embora o concreto tenha apresentado resistência conforme o projeto. Foram identificados intervalos prolongados entre mistura e lançamento do concreto, além de cura inadequada. Conclui-se que as fissuras decorreram principalmente da retração, agravada por práticas executivas inadequadas e condições ambientais desfavoráveis.
Palavras-chave: retração; fissuras; cura do concreto.

ABSTRACT

The article analyzed the occurrence of cracks in reinforced concrete slabs of a residential building in Passo Fundo (RS), focusing on plastic shrinkage of the concrete. The research involved technical inspections, crack measurements, photographic records, and analysis of concreting, curing, and climatic conditions. The results indicated cracks with openings ranging from 4.35 mm to 7.70 mm, although the concrete presented compressive strength consistent with the design specifications. Prolonged intervals between mixing and placement of the concrete were identified, as well as inadequate curing procedures. It is concluded that the cracks mainly resulted from shrinkage, aggravated by inadequate construction practices and unfavorable environmental conditions.

Keywords: Shrinkage; cracks; concrete curing.

1. INTRODUÇÃO

Todas as etapas do processo construtivo exigem controle tecnológico para assegurar o desempenho adequado e vida útil. Procedimentos inadequados ou falhas nos cuidados necessários levam às manifestações patológicas que podem acometer as edificações e que podem prejudicar a segurança estrutural e causar desconfortos aos usuários. Entre as manifestações patológicas mais comuns estão as fissuras (Tang et al., 2015; Askar et al., 2023).

Quando as fisuras acometem as estruturas de concreto, fatores como ausência de cura adequada, altas temperaturas, vento e baixa umidade relativa do ar contribuem para a perda de água por evaporação, gerando gradientes de umidade que provocam tensões internas e consequente fissuração, especialmente nas primeiras horas após a concretagem (Alexandre, 2008; Sitter, 1984; Weimer, 2018). Estudos recentes destacam que condições ambientais severas e inadequado controle de cura aumentam significativamente a suscetibilidade do concreto à fissuração inicial (Shen, 2024; Lura et al., 2025). Além disso, os processos fissuratórios do concreto podem se originar de falhas no dimensionamento, execução inadequada e sobrecargas. Nesse sentido, o diagnóstico precoce de uma manifestação patológica, como enfatizado por Sartor (2017), é essencial para evitar danos irreversíveis, reduzir custos de manutenção e prolongar a vida útil das estruturas (Zhang et al., 2024).

O período anterior ao endurecimento do concreto corresponde à fase em que o concreto ainda pode ser remoldado após o lançamento, antes do início da pega, o que pode variar de 1 hora a 12 horas, conforme a temperatura ambiente, a relação água/cimento e o uso de aditivos modificadores do tempo de pega, como aceleradores ou retardadores (ABNT NBR 12655, 2015). Pesquisas recentes também destacam que a composição do cimento, o tipo de adição mineral e a presença de aditivos químicos podem alterar significativamente o comportamento reológico e o tempo de início de pega, influenciando diretamente o risco de retração plástica e fissuração precoce (Babhuiya et al., 2025; Miao et al., 2025).

No estado endurecido, Carasek e Cascudo (2013) salientam que outros fatores também contribuir para o surgimento das fissuras, tais como as variações volumétricas decorrentes de gradientes térmicos e de umidade, as fissuras de retração por secagem. Trata-se um fenômeno físico-químico que ocorre no concreto endurecido, decorrente da perda de água livre para o ambiente. Inicialmente, a água removida não está quimicamente ligada aos produtos da hidratação do cimento, e sua evaporação variações volumétricas significativas. No entanto, à medida que a secagem prossegue e a maior parte da água livre é removida, a perda de água adicional passa a gerar maiores tensões internas, ocasionando fissuração e, em alguns casos o empenamento das bordas do elemento de concreto (Balthar, 2004). Estudos recentes confirmam que a retração por secagem continua sendo uma das principais causas de fissuração em elementos estruturais de concreto, sobretudo em ambientes com variações de temperatura e umidade (Zhang et al., 2024; Long et al., 2025)

Este tipo de fissuração é especialmente relevante em estruturas de grande superfície exposta, como as lajes, onde a variação de umidade entre a superfície e o interior do concreto é mais acentuada. Diversas estratégias podem ser adotadas para mitigar os efeitos da retração por secagem. Entre elas, destacam-se a correta disposição de juntas de controle, a redução da relação água cimento, o uso de armaduras de pele em elementos alongados, a escolha de agregados graúdos com maior dimensão máxima característica, e a utilização de agregados miúdos com baixo teor de materiais argilosos (Balthar, 2004). Além disso, a cura eficiente e o controle da umidade do ambiente nas primeiras idades do concreto são fundamentais para reduzir a perda excessiva de água, promovendo

uma secagem mais homogênea e segura. Pesquisas também apontam que o uso de adições minerais, fibras e agentes redutores de retração pode contribuir significativamente para minimizar a formação de fissuras e melhorar a durabilidade das estruturas de concreto (Debnath et al., 2025).

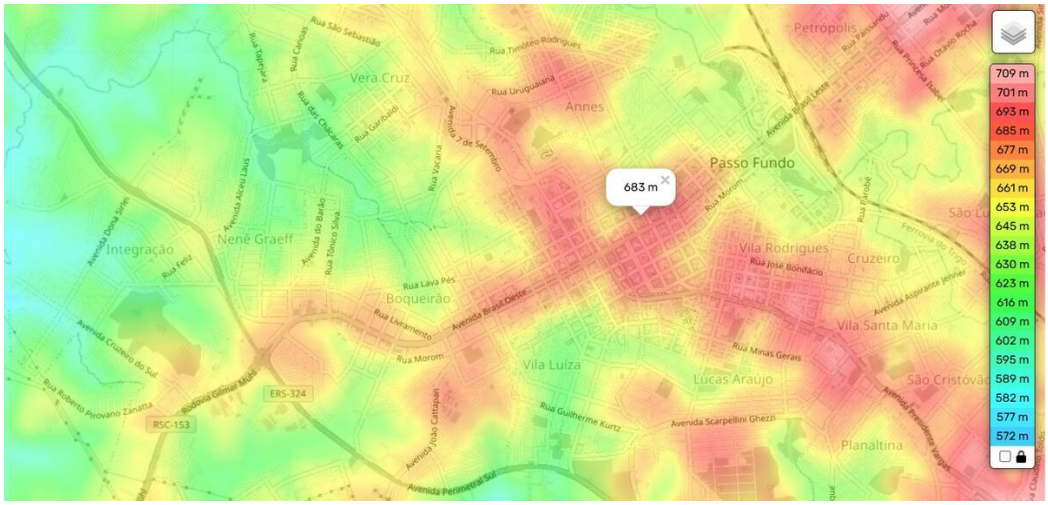
Através da avaliação das condições construtivas, dos aspectos ambientais e de projeto, a presente pesquisa apresenta as principais causas e os mecanismos que levaram o surgimento de fissuras excessivas em lajes de concreto armado de um edifício localizado na cidade de Passo Fundo.

2. MÉTODO

2.1 Objeto de estudo

A fissuração excessiva que surgiu em lajes de concreto armado após a concretagem, em um edifício situado na região central do município de Passo Fundo, é o objeto de estudo deste trabalho. O edifício onde foi realizada a pesquisa se encontra em uma área topograficamente elevada, do município de Passo Fundo, na região Sul do Brasil, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Mapa topográfico de Passo Fundo, RS, Brasil



Fonte: Topographic-Map.Com, 2025.

O edifício onde se localizam as lajes que apresentaram fissuras possui 15 pavimentos, sendo um pavimento térreo, três pavimentos de garagem e onze pavimentos tipo, residenciais. São 9 apartamentos por andar, totalizando 99 unidades habitacionais. A análise desta pesquisa concentrou-se na laje de concreto armado localizada no 7º pavimento, na face norte do edifício, embora as fissuras também tenham sido identificadas no 13º pavimento, na mesma posição. A Figura 2 mostra o aspecto fissuratório da laje estudada, permitindo observar a extensão e o padrão de distribuição das fissuras, bem como sua orientação predominante.

Figura 2 – Fissuras observadas no estudo de caso



Fonte: De autoria própria, 2025.

2.2 Etapas da pesquisa

Para conduzir a investigação foram feitas inspeções técnicas para a identificação e registro das fissuras presentes nas lajes. Durante as inspeções foram realizados registros fotográficos, bem como leituras da abertura e profundidade das fissuras, por meio de paquímetro.

Além das inspeções foram coletadas informações referentes ao concreto e às concretagens das lajes, a partir do fornecedor de concreto e junto à equipe de obra (engenheiros, mestre, entre outros), sendo elas:

- Datas e horários de concretagem, início e término de descarregamento de cada caminhão betoneira;
- Ordens de serviço e documentos de registros de execução;
- Informações sobre o abatimento do concreto (slump test), adição de água (se houver), número e localização dos corpos de prova moldados;
- Rastreabilidade da concretagem, através do mapeamento das lajes, efetuada por meio da marcação com tintas coloridas dos locais de deposição de cada uma das betonadas (procedimento que permite a identificação de cada caminhão).
- Traços utilizados, tipo de cimento, aditivos, fator a/c.

Para avaliar a influência das condições climáticas na ocorrência das fissuras observadas, foram coletadas informações sobre a temperatura, a umidade relativa do ar e velocidade do vento no dia da concretagem e nos 07 dias subsequentes. As informações foram obtidas através do banco de dados da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), disponíveis no site: https://www.embrapa.br/trigo/infraestrutura/agrometeorologia/laboratorio-agrometeorologia.

3. RESULTADOS

A partir da inspeção detalhada da laje estudada foi possível avaliar as características das fissuras presentes, conforme apresentado na Tabela 1, onde verifica-se que a maioria das fissuras possui orientação transversal, com aberturas variando entre 4,35 mm e chegando 7,70 mm. As profundidades atingem valores da ordem de 91,7 mm (caso da fissura de número 11), que também pode ser observada através da Figura 3. Cabe salientar que a espessura da laje inspecionada é de 150 mm, ou seja, a fissura praticamente transpassa a laje de uma extremidade a outra.

Tabela 1 – Características das fissuras identificadas na laje do 7º pavimento

Identificação	Largura (mm)	Profundidade (mm)	Orientação
1	4,70	19,55	L
2	4,35	46,90	T
3	5,70	40,00	T
4	6,00	30,60	L
5	5,60	21,40	T
6	6,30	42,45	T
7	7,00	65,70	T
8	7,10	39,40	T
9	6,70	29,60	T
10	7,70	42,40	T
11	6,40	91,70	L

L= longitudinal; T= transversal

Figura 3 – Fissura com profundidade de 91,70 mm



Fonte: De autoria própria, 2025.

A NBR 12655:2015 estabelece, no item 4.3, a obrigatoriedade de se "efetuar a rastreabilidade do concreto lançado na estrutura", sendo esta uma atribuição do profissional responsável pela execução da obra. Este procedimento é fundamental para vincular eventuais não conformidades a lotes específicos de concreto.

A Tabela 2 mostra informações sobre as condições de mistura do concreto, em relação ao tempo de mistura e o tempo de concretagem. A Figura 4 ilustra o mapa de rastreabilidade, associando cada betonada a uma região específica da laje.

Tabela 2 – Tempo de mistura e tempo de concretagem

Betonada (Nota Fiscal)	Volume de concreto (m³)	Mistura (hora:min)	Chegada (hora:min)	Início (hora:min)	Término (hora:min)
58313	8	7:15	8:05	9:05	9:20
58315	8	8:30	9:20	9:35	10:03
58316	8	8:48	9:42	10:17	10:50
58318	8	9:30	10:15	11:02	11:45
58328	6	10:30	11:10	11:55	12:20
58329	8	12:08	12:45	13:05	13:35

Fonte: De autoria própria, 2025.

Figura 4 – Rastreabilidade do concreto



Fonte: De autoria própria, 2025.

A avaliação dos procedimentos de concretagem permitiu constatar que o concreto fornecido pelo 1º caminhão (58313) ultrapassou 120 minutos de mistura, tendo em vista os horários de início da mistura (07:15) e do descarregamento (09:05). Esse intervalo situa-se próximo ao limite de 150 minutos, estabelecido pela NBR 6212 (ABNT, 2012) para a descarga completa do concreto e entende-se que pode levar ao comprometimento do material no estado fresco, especialmente a trabalhabilidade, dificultando a uniformidade da distribuição do concreto e o seu adensamento.

Estudos apontam que a perda de abatimento do concreto ao longo do tempo é inevitável, podendo chegar a 40% entre o início e o fim de uma concretagem (Erdoğdu, 2005; Teixeira; Pelisser, 2007). Assim, o tempo de mistura para este caminhão pode ter contribuído para a perda de desempenho

do concreto, aspecto que se correlaciona com a incidência das fissuras mais severas registradas na laje, uma vez que a laje acometida pelas fissuras foi atendida pelo referido caminhão.

A análise da distribuição das concretagens revelou uma correlação espacial entre a ocorrência das fissuras mais severas (com aberturas superiores a 6,0 mm – vide Tabela 1) e as betonadas dos caminhões 58313 (1º caminhão), 58315 (2º caminhão) e 58316 (3º caminhão).

Através de informações obtidas do projeto das estruturas de concreto, as lajes foram dimensionadas considerando-se o emprego de um concreto com resistência à compressão de 30 MPa e abatimento de 120 mm. Para o controle de qualidade da resistência à compressão do concreto foram moldados 2 corpos de prova (CPs) por caminhão betoneira e, conforme os resultados médios, apresentados na Tabela 2, nota-se que a resistência do concreto foi superior ao especificado em projeto. A partir do cálculo do f_{ck} estimado, segundo o que recomenda a NBR 12655 (ABNT, 2015), foi obtido um resultado de resistência à compressão de 30,3 MPa. Este resultado, comparativamente aos obtidos pelo controle tecnológico, aponta para aceitação dos concretos fornecidos.

Tabela 1 – Controle tecnológico do concreto

Caminhão (Nota Fiscal)	Abatimento (mm)	Resistência à compressão média aos 28 dias (MPa)
58313	140	30,8
58315	120	39,5
58316	140	31,8
58318	130	32,0
58328	140	31,4
58329	120	36,4

Fonte: De autoria própria, 2025.

Os procedimentos posteriores à concretagem envolvem a cura do elemento estrutural. A Norma NBR 14931 (ABNT, 2023) é enfática ao prescrever que a cura deve ser iniciada imediatamente após o término da concretagem e mantida de forma ininterrupta, sob pena de perda prematura de água. A Figura 5 mostra a ausência de umidade na superfície da laje estudada nos horários de pico de temperatura e insolação, ou seja, a cura não foi efetuada de forma contínua e ineficaz. A cura adequada tem por objetivo manter a superfície do concreto permanentemente saturada durante os primeiros e críticos dias após o lançamento, permitindo a hidratação completa do cimento e evitando a geração de tensões internas decorrentes da retração por secagem (Neville, 2016; Figueiredo et al., 2020).

A correlação entre as informações sobre a concretagem e a cura do concreto com as condições climáticas do dia da concretagem e os 7 dias seguintes, apresentada na Tabela 4, mostra que no dia da concretagem (21/01/2025) ocorreu uma combinação crítica de fatores ambientais que podem ter influenciado a ocorrência das fissuras. Primeiramente, nota-se uma grande amplitude térmica, da ordem de 14,3ºC (15,4°C a 29,7°C). Em um segundo momento, verifica-se que a velocidade do vento era considerável, de até 9,3 m/s. Ambos os fatores tornam propício o fenômeno de retração, especialmente considerando-se a ausência da cura. A umidade relativa também contribui para a ocorrência de retração e, neste caso um dia após a concretagem foi registrada uma umidade considerada crítica – 44% (Neville, 2013).

Figura 5 – Aspecto da estrutura após a concretagem: ausência de procedimentos de cura



Fonte: De autoria própria, 2025.

Tabela 2 – Condições climáticas

Data	Etapa de registro	Temperatura (ºC)		Precipitação (mm)	U.R. (%)	Vento	
		Máxima	Mínima			Vel. Máx. (m/s)	Direção
20/01/2025	24h antes da concretagem	28,5	19,8	2,00	68	10,5	W
21/01/2025	Concretagem	29,7	15,4	0,00	62	9,3	NW
22/01/2025	24h após a concretagem	32,2	18,0	0,00	44	8,6	NW
23/01/2025	48h após a concretagem	34,5	18,4	0,00	51	17,9	NW
24/01/2025	72h após a concretagem	27,0	18,9	2,20	87	12,4	NW
25/01/2025	96h após a concretagem	27,5	18,9	5,00	78	11,2	SE
26/01/2025	120h após a concretagem	29,4	19,4	0,00	71	8,5	SE
27/01/2025	144h após a concretagem	32,0	19,2	0,20	74	10,8	NE
28/01/2025	168h após a concretagem	30,5	19,3	8,60	76	9,6	W

Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 2025.

Segundo Cánovas (1988), a rápida evaporação da água superficial do concreto, induzida pelo vento, gera um encurtamento imediato na superfície do elemento, que, por estar ainda sem resistência mecânica, fissura-se. Paralelamente, a grande variação de temperatura entre a noite anterior à concretagem e o pico diurno pode ter gerado gradientes térmicos no interior da peça, promovendo tensões adicionais, que exacerbaram a fissuração.

3.1 Discussão dos resultados

A partir das avaliações realizadas, considerando-se o f_{ck} estimado (30,3 MPa), verificou-se que o concreto empregado na estrutura possui a resistência adequada, bem como o fornecedor atendeu o abatimento requerido. Sendo assim, sob esse aspecto, o concreto não interferiu na ocorrência da fissuração. As análises realizadas permitiram verificar que o surgimento das fissuras decorreu primordialmente do fenômeno de retração, agravada por uma conjunção crítica de fatores inter-relacionados.

Os procedimentos de cura adotados na laje avaliada mostraram-se incapazes para criar a barreira de saturação necessária e impedir a evaporação excessiva de água, ou seja, a inobservância da cura acabou atuando, não como uma medida mitigatória, mas como um fator que potencializou o mecanismo de fissuração, aumentando a retração do concreto. A falha neste procedimento essencial constitui uma das causas para que se ultrapasse o Estado Limite de Serviço (ELS-W) por fissuração excessiva, conforme estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2023).

Conforme demonstrado experimentalmente por Figueiredo et al. (2020), a aplicação intermitente de água não neutraliza os efeitos de condições ambientais severas, resultando em resistências mecânicas inferiores e, principalmente, no surgimento de microfissuras.

As condições climáticas registradas no dia da concretagem, caracterizadas por amplitude térmica acentuada, baixa umidade relativa do ar e ventos considerados intensos estabeleceram um cenário ideal para a ocorrência deste mecanismo, propiciando a evaporação acelerada da água de amassamento e consequente surgimento de tensões de tração no concreto ainda fresco.

Paralelamente, verificou-se a ocorrência de intervalos de concretagem próximos ao limite máximo estabelecido pela norma, o que pode ter comprometido a homogeneidade e a trabalhabilidade da mistura. Esta condição possivelmente contribuiu para reduzir a capacidade do concreto em resistir às solicitações iniciais decorrentes da retração plástica.

Dessa forma, a partir dos aspectos observados, aponta-se como causa principal das fissuras o fenômeno de retração plástica, intensificado pela ação combinada de condições ambientais adversas com práticas executivas inadequadas, em especial no que concerne aos procedimentos de cura.

Em relação aos procedimentos de reparo das fissuras é importante ponderar que o tratamento deve ser precedido pela identificação de atividade, ou não, da fissura, para que a técnica de reparo seja adequada e duradoura (Oliveira, 2014). De acordo com diversos autores, a injeção de resinas a técnica de excelência para a recuperação da monoliticidade e durabilidade do concreto fissurado. No caso de fissuras passivas, a aplicação de resinas rígidas, como de base epóxi, é indicada; enquanto as fissuras ativas, ou sujeitas a movimentação, demandam produtos flexíveis, como o poliuretano (Duarte; Barbosa; Farias, 2021).

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa permitiu identificar que as fissuras excessivas observadas na laje de um edifício em localizado n acidade de Passo Fundo, RS, resultaram de uma combinação crítica de fatores, a seguir listados:

- Condições climáticas desfavoráveis no dia da concretagem, caracterizadas por alta amplitude térmica, baixa umidade relativa do ar e ventos expressivos, criaram um ambiente propício à evaporação acelerada da água superficial do concreto ainda fresco, gerando tensões capazes de ultrapassar sua resistência inicial;
- Etapas executivas inadequadas, como o prolongado tempo de descarregamento de algumas betonadas, que comprometeu a homogeneidade e a trabalhabilidade do concreto;
- Execução da cura de forma descontínua.

Ressalta-se que o concreto utilizado apresentou resistência mecânica satisfatória, afastando falhas de dosagem ou qualidade do material como causa principal, o que pôde ser constatado pela comparação das resistências obtidas com o fck estimado. Dessa forma, é possível concluir que as fissuras que foram objeto de estudo desta pesquisa decorreram essencialmente de falhas no controle tecnológico do concreto no estado fresco e na adoção de práticas executivas incompatíveis com as condições ambientais vigentes.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam agradecimento à Atitus Educação pelo suporte dado durante o andamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, I. F. Manifestações patológicas em empreendimentos habitacionais de baixa renda executados em alvenaria estrutural: uma análise da relação de causa e efeito. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

ASKAR, MAND KAMAL et al. Cracks in concrete structures causes and treatments: A review. **Journal of Duhok University**, v. 26, n. 2, p. 148-165, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BALTHAR, V. K. B. L. Retração autógena e evolução de propriedades mecânicas de pastas pozolânicas. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

BARBHUIYA, Salim; DAS, Bibhuti Bhusan; ADAK, Dibyendu. Effects of chemical admixtures on the properties of concrete. In: **Binding Materials for Sustainable Construction**. Woodhead Publishing, 2025. p. 329-362.

CÁNOVAS, M. F. Patologia e Terapia do Concreto Armado. 1ª. ed. São Paulo: Pini, 1988.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. Notas de aula da disciplina de patologia das construções para a turma de engenharia civil. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2013.

DEBNATH, Sunanda. Crack Formation and Control Strategies in Concrete Systems. **Journal of Manufacturing Engineering**, v. 20, n. 2, p. 067-075, 2025.

DUARTE, Hiago Simões; BARBOSA, Melissa; FARIAS, Bruno Matos de. Fissuras em estruturas de concreto armado: estudo de caso. In: ENGEHHARIA NA PRÁTICA: CONSTRUÇÃO E INOVAÇÃO, 3., 2021, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: Universidade Estado de Sá, 2021.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Dados Agrometeorológicos – Ano 2025. Disponível em: https://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/app/principal/agromet.php?ano=2025.

ERDOĞDU, S. Effect of retempering with superplasticizer admixtures on slump loss and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing. Cement & Concrete Research 35, 907-912, 2005.

FIGUEIREDO, Camila do Mont; ARAUJO, Murilo Aziz; BARBOZA, Lucas da Silva; SARTORIT, Artur Lenz. Análise da influência do método de aplicação da cura na resistência do concreto. Revista Tecnológica, Universidade Estadual de Maringá, v. 27, n. 1, 2020.

LONG, Zhaofei et al. Regulating drying shrinkage behavior of cement-based materials in low vacuum environments and developing a predictive model. **Journal of Building Engineering**, v. 99, p. 111639, 2025.

LURA, Pietro et al. Mitigation of plastic shrinkage cracking with natural fibers-kenaf, abaca, coir, jute and sisal. **Cement and Concrete Composites**, v. 155, p. 105827, 2025.

MIAO, Yanchun et al. Shrinkage cracking evolvement in concrete cured under low relative humidity and its relationship with mechanical development. **Journal of Building Engineering**, v. 72, p. 106670, 2023.

NEVILLE, A.M. Propriedades do concreto. 5ª edição. Porto Alegre: Book, 2016.

OLIVEIRA, Jerfran Januário. Recuperação de estruturas de concreto com injeção de resina de poliuretano. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

SARTOR, A. S. Identificação das patologias internas de um edifício residencial do município de Alegrete/RS. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Instituto Federal Farroupilha, Alegrete, 2017.

SHEN, Dejian. **Early-age Cracking Control on Modern Concrete**. Beijing, China: Springer, 2024.

SITTER, W. R. Costs for service life optimization: the law of fives. In: DURABILITY OF CONCRETE STRUCTURES: Workshop Report, 1984.

TANG, Sheng Wen et al. Recent durability studies on concrete structure. **Cement and Concrete Research**, v. 78, p. 143-154, 2015.

TEIXEIRA, R. B.; PELISSER, F. Análise da perda de resistência à compressão do concreto com adição de água para correção da perda de abatimento ao longo do tempo. Revista de Iniciação Científica da UNESC, Vol. 5, No 1, 2007.

WEIMER, B. F.; THOMAS, M.; DRESCH, F. Patologia das estruturas. Porto Alegre, RS: SAGAH, 2018.

ZHANG, Jinghua et al. A review on concrete structural properties and damage evolution monitoring techniques. **Sensors**, v. 24, n. 2, p. 620, 2024.

CAPÍTULO 105 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/s03f6702
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/c85bqx02

ENGENHARIA DIAGNÓSTICA APLICADA A RESERVATÓRIO DE ÁGUA ELEVADO: APLICAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO PARA INSPEÇÃO DO REL INDAIÁ

Everton Gabriel Medeiros da Silva[1]*, Aristóteles Vinicius Souza de Andrade[2] e Alberto Casado Lordsleem Júnior[3]
*Autor de contato: egms@poli.br

[123] Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PEC, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco POLI– UPE, Recife, Brasil

RESUMO

Os reservatórios de água elevados (RELs) são infraestruturas essenciais para o abastecimento público, porém estão sujeitos a manifestações patológicas decorrentes da ação deletéria da exposição ambiental e da ausência de manutenção periódica. Este estudo tem como objetivo avaliar a aplicabilidade do veículo aéreo não tripulado (VANT) como ferramenta de inspeção de manifestações patológicas em REL, por meio do estudo de caso do REL Indaiá, localizado na Região Metropolitana de Recife. A metodologia baseou-se em inspeção aérea com VANT para coleta imagens e processamento por fotogrametria digital para geração de modelos tridimensionais e ortomosaicos. A partir desses recursos, foram identificadas, classificadas e quantificadas as manifestações patológicas, além da elaboração de mapas de danos e análise de severidade, risco e identificação de áreas críticas com base na metodologia GUT e na norma NBR 16747. Os resultados demonstram elevada incidência de corrosão e exposição de armaduras, com severidade e condição de risco máximas, além de apresentar a torre e a laje inferior do tanque como áreas críticas, evidenciando a eficiência do VANT na inspeção, com redução de custos, tempo e riscos operacionais, configurando-se como alternativa viável aos métodos tradicionais, à tomada de decisão, gestão e monitoramento da infraestrutura hídrica.
Palavras-chave: inspeção; engenharia diagnóstica; infraestrutura hídrica.

ABSTRACT

Elevated water reservoirs (EWRs) are essential infrastructures for public water supply; however, they are subject to pathological manifestations resulting from the deleterious effects of environmental exposure and the lack of periodic maintenance. This study aims to evaluate the applicability of unmanned aerial vehicles (UAVs) as a tool for inspecting pathological manifestations in EWRs through a case study of the Indaiá EWR, located in the Recife Metropolitan Region, Brazil. The methodology was based on UAV-based aerial inspection for image acquisition and digital photogrammetry processing to generate three-dimensional models and orthomosaics. Based on these resources, pathological manifestations were identified, classified, and quantified, in addition to the development of damage maps and the analysis of severity, risk, and identification of critical areas, grounded on the GUT methodology and the NBR 16747 standard. The results demonstrate a high incidence of corrosion and exposed reinforcement, with maximum severity and risk condition, and identify the tower and the lower tank slab as critical areas. These findings highlight the efficiency of UAV-based inspection by reducing costs, execution time, and operational risks, establishing it as a viable alternative to traditional methods and a valuable tool for decision-making, management, and monitoring of water infrastructure.
Keywords: inspection; diagnostic engineering; water infrastructure.

1. INTRODUÇÃO

Os RELs são infraestruturas essenciais para o armazenamento e distribuição de água, garantindo a pressurização da rede de abastecimento através da pressão hidrostática, sem necessidade de energia elétrica, onde, a cada 10,2 cm de elevação, conferem 1 kPa de pressão, ou seja, para 30 m de elevação gera-se, aproximadamente, 300 kPa, pressão suficiente para operar e fornecer a maioria dos requisitos de pressão de água (Almeida, 2014; Teixeira; Silva; Alves, 2021).

No entanto, os RELs são constantemente expostos a condições de operação e exposição ambiental deletérias, ocasionando o acometimento de manifestações patológicas em todas as suas partes constituintes (Helene, 1993; Pimentel et al., 2021).

As manifestações patológicas que acometem os reservatórios elevados de água têm a sua manutenção ou recuperação muitas vezes postergadas devido à necessidade de paralisação do abastecimento, o que afetaria diretamente a qualidade de vida dos usuários, por serem edificações destinadas ao abastecimento de água potável para a população (Souza, 2014).

Para iniciar o processo de manutenção e recuperação é necessário inspecionar esses reservatórios, sendo a inspeção é um procedimento técnico eficaz e crucial para garantir a segurança das estruturas e infraestuturas (IBAPE, 2025).

Porém, o método tradicionalmente empregado para inspecionar RELs, o alpinismo industrial, demanda altos custos, tempo excessivo e riscos aos trabalhadores (Mohammadi, 2021), onde a queda em altura é o principal motivo de acidentes fatais na construção civil (FUNDACENTRO, 2022).

Desta forma, Oliveira *et al.* (2021) apresentam o veículo aéreo não tripulado (VANT) como alternativa tecnológica, em crescente utilização na construção civil, capaz de realizar filmagens e levantamentos fotográficos em locais de difícil acesso de forma segura, ágil e com menor custo, reduzindo a mão-de-obra, de três para um profissional, os custos, a um terço do tradicional, e o tempo, de dias para horas.

Porém, apesar da expansão do uso do VANT na construção civil e de seus benefícios, são escassos os estudos que abordem o seu emprego para o monitoramento das condições estruturais de RELs, concentrando-se em análises de pontes, viadutos, rodovias e painéis solares.

Nesse sentido, este estudo destaca-se por preencher essa lacuna de pesquisa, através de abordagem metodológica voltada para análise espacial e hierarquizada dos danos, servindo como ferramenta de apoio à tomada de decisão e gestão de infraestrutura hídrica, adotando metodologia baseada em estudo de caso, objetivando a avaliação da severidade, atribuição do grau de prioridade e identificação das áreas críticas do REL estudado, empregando o VANT como ferramenta de captura de imagens para posterior construção de recursos visuais que auxiliarão no diagnóstico.

2. METODOLOGIA

O procedimento metodológico adotado neste trabalho envolveu abordagem exploratória, aplicada em estudo de caso, a qual foi empregado VANT para realização de levantamento fotográfico e coleta de dados do objeto estudado, subsidiando a reconstrução digital tridimensional do

reservatório através de *software* de fotogrametria digital para posterior análise técnica das manifestações patológicas incidentes.

2.1 Estudo de caso

Para o desenvolvimento deste estudo, foi necessária a participação no Programa de Mentoria CONECTA da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), o que possibilitou a obtenção das autorizações e informações técnicas relativas ao objeto analisado. Assim, definiu-se o REL Indaiá como estudo de caso, estrutura construída há mais de 30 anos (sem registro preciso da data), localizada na 1ª Travessa da Conceição, Rodovia PE-22, s/nº, Nossa Senhora do Ó, em Paulista-PE, na Região Metropolitana do Recife (Silva, 2024).

Figura 1 – Estudo de caso.



Fonte: os autores.

Este REL é caracterizado por ser destinado à distribuição de água, possuir capacidade de armazenamento de 300 m³ de água tratada, médio porte, com forma circular, coberto, material construtivo em concreto armado e tipologia simples, possuindo 24 metros de altura, atendendo ao bairro de Nossa Senhora da Conceição, responsável por abastecer 2.462 economias ou 8.617 pessoas, aproximadamente (Silva, 2024).

Encontra-se locado a 4 metros de altitude em relação ao nível do mar e distância para o mar, em linha reta, de 734 metros, e está sob a responsabilidade da Gerência de Negócios Metropolitana (GNM) Norte, sendo abastecido pelo poço artesiano P.7.1 estabelecido no mesmo local, figurando como importante infraestrutura hídrica para abastecimento de água potável para a população local (Silva, 2024).

2.2 Protocolo de atividades

Objetivando padronizar e tornar o processo replicável, foi desenvolvido o potocolo de inspeção em reservatórios de água elevados, abrangendo as etapas descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – Etapas das atividades desenvolvidas.

Atividade	Descrição
Preparação	Avaliação do local, levantamento dos dados do REL e solicitação de autorização para voo com o VANT.
Operação	Levantamento e coleta de dados por meio de pousos e decolagem da aeronave para captura de imagens e definições de voo.

Quadro 1 – Etapas das atividades desenvolvidas (continuação).

Pós-operação	Catalogação, organização e disposição dos dados coletados.
Processamento digital	Construção dos recursos visuais, como nuvem densa de pontos, modelo 3D e orotomosaicos.
Construção de mapas de danos	Para futuras manutenções e/ou reconstruções, pontuais ou totais.

Fonte: os autores (2026).

Para as etapas de preparação, operação e pós-operação foram desenvolvidos formulários de orientação e direcionamento dos voos realizados, permitindo identificar e replicar as configurações, características, análises e cuidados empregados para a atividade exploratória, os quais continham, em síntese, dados do REL, plano de voo, análise do local, autorização e configurações de voo, local de pouso e decolagem, pós-pouso, local, data, hora, quantidade de imagens, distâncias (m), altitude (m) e tempo de voo, além de informações sobre condições climáticas.

2.3 Equipamentos e *softwares*

Para o desenvolvimento da pesquisa foi empregado o VANT da empresa DJI, modelo *Mavic* 3 *Thermal* (Figura 2), aeronave do tipo quadricóptero e classificada, pela ANAC, como classe 3 (ANAC, 2023).

Figura 2 – VANT utilizado para os voos.



Fonte: os autores.

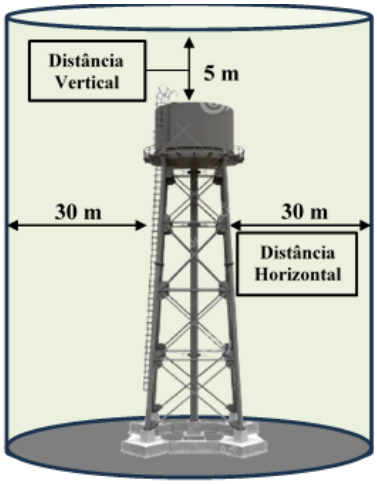
A aeronave não tripulada possui peso de 920 g (com hélices), dimensões de 347,5 × 283 × 107,7 mm quando desdobrada e autonomia de até 45 minutos com duas baterias, sendo controlada por meio do DJI RC Pro Enterprise com display integrado de alta definição. Conta com gimbal de estabilização em três eixos, com inclinação entre -90° e 35°, além de três câmeras: grande angular de 48 MP com zoom de até 56×, telecâmera de 12 MP e câmera térmica com resolução máxima de 640 × 512 pixels, permitindo capturas em JPEG e MP4 (Medeiros da Silva et al., 2025). Para o processamento digital dos dados e geração de modelos tridimensionais, utilizou-se computador DELL com processador Intel Core i7, 16 GB de RAM e os softwares Pix4D Cloud, Agisoft Metashape Professional 2.1.1 e Pix4D Capture PRO.

2.4 Procedimentos

2.4.1 Voos e sobreposição de imagens

A captura de imagens com o VANT foi realizada utilizando a configuração Torre de Transmissão do software Pix4D Capture Pro, garantindo a qualidade dos dados aerofotogramétricos e a automatização do voo. Foram executados dois voos com a mesma trajetória, porém em diferentes altitudes e posições em relação ao REL, visando ampliar a cobertura e o detalhamento das áreas inspecionadas. O primeiro voo concentrou-se na coberta e no tanque, mantendo distância vertical de cinco metros e horizontal de oito metros, atendendo à regulamentação do DECEA (2023) para o modo Entorno de Estruturas (Figura 3). Essa configuração seguiu as recomendações de Ballesteros e Lordsleem Jr. (2020), otimizando a identificação de danos nessas regiões do reservatório.

Figura 3 – Operação no Entorno de Estruturas.



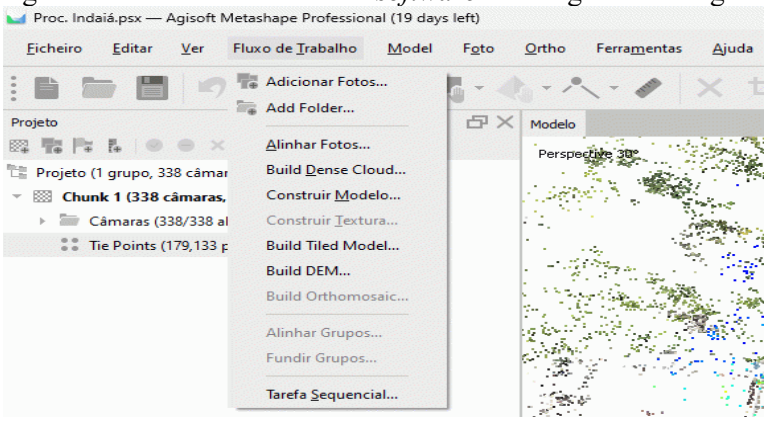
Fonte: Silva (2025).

Após a substituição da bateria, o VANT foi reposicionado para abranger a laje inferior e a superestrutura do reservatório, garantindo sobreposição mínima de 15% entre imagens capturadas em diferentes altitudes, conforme Mappa (2020), e sobreposição longitudinal de 80% em trajetória orbital, de acordo com Pitombeira e Reis Filho (2020) e Silva et al. (2022), totalizando 60 minutos de operação. Concluído o levantamento fotográfico, as imagens foram armazenadas em formato JPG, catalogadas e organizadas em arquivo específico do reservatório, viabilizando o posterior processamento dos dados por meio de software de fotogrametria digital.

2.4.2 Procedimentos do processamento digital

De posse dos dados coletados e organizados, realizou-se o processamento digital das imagens no software Agisoft Metashape Professional para geração dos recursos visuais utilizados na inspeção. A fim de garantir elevada qualidade e fidelidade na reconstrução do REL, todos os parâmetros foram configurados na capacidade máxima permitida pelo programa. Considerando a memória RAM disponível, foi possível processar entre 300 e 500 imagens de 10 MP por etapa, sendo que o volume de fotos e as configurações adotadas influenciaram diretamente a demanda computacional e o tempo de processamento (AGISOFT, 2024). O processamento completo do REL Indaiá demandou 11 horas e 38 minutos, seguindo as etapas de alinhamento das fotos, geração da nuvem densa de pontos, construção do modelo, aplicação de textura e geração do ortomosaico.

Figura 4 – Fluxo de trabalho no *software* de fotogrametria digital.



Fonte: os autores (2026).

O tempo total para produção dos recursos visuais compreendeu desde a coleta das imagens até a geração e exportação dos ortomosaicos. Concluída essa etapa, iniciou-se a detecção, identificação e classificação dos danos estruturais por meio da análise visual das fotografias, modelos 3D e ortomosaicos. O procedimento foi padronizado, adotando-se leitura sistemática de cima para baixo e da esquerda para a direita em cada face do reservatório, conforme as posições cardeais. As imagens ortorretificadas foram exportadas para o AutoCAD para elaboração dos mapas de danos e representação gráfica das anomalias. Em seguida, foram definidos os tipos de danos, sua quantificação, distribuição e severidade. Esses dados permitiram estabelecer prioridades para a reabilitação estrutural do REL.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da aplicação das etapas metodológicas, foi possível identificar a quantidade, características, posição, distribuição e severidade das manifestações patológicas incidentes no estudo de caso.

3.1 Análise quantitativa das manifestações patológicas

A manifestação patológica com maior incidência identificada no REL foi a corrosão, correspondendo a 27,85% do total de manifestações patológicas detectadas, seguida da exposição das armaduras, com 25,31% e eflorescência, com 17,72%, conforme Tabela 1 e exemplificado na Figura 5.

Tabela 1 – Quantitativo e tipos de manifestações patológicas detectadas no REL por recurso visual.

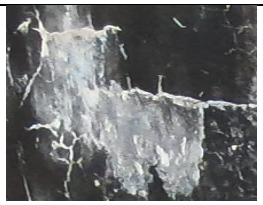
	Manifestação Patológica	Fotografias	Modelo 3D	Ortomosaico
REL Indaiá	Corrosão	22	11	16
	Armadura exposta	20	9	14
	Eflorescência	14	9	14
	Agentes biológicos	6	6	6
	Desplacamento	10	5	10
	Fissuras e trincas	5	2	5
	Vazamento	2	2	2
	Total	**79**	**44**	**67**

Fonte: os autores.

Desta forma, pôde-se identificar que o recurso visual com maior eficiência para identificação de manifestações patológicas no REL foras as fotografias obtidas por meio do VANT. Os ortomosaicos foram eficazes para auxiliar na localização espacial das anomalias, principalemte em imagens com foco elevado. Já os modelos 3D retornaram menor qualidade para identfficação de ocorrências patológicas, porém mostraram-se úteis para a representação geométrica do objeto estudado e para futuras intervenções ou reconstruções.

Figura 5 – Exemplos de manifestações patológicas localizadas no REL Indaiá.

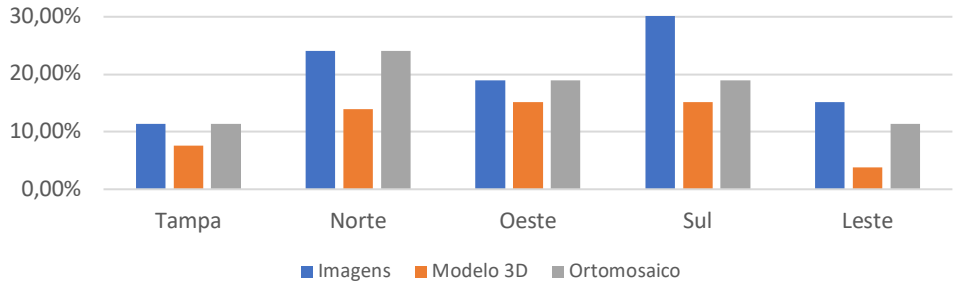
Corrosão e exposição de armaduras		
		
Pilar	Tanque	Pilar

Eflorescência	Vazamento
	
Tanque	Tanque

Fonte: os autores.

Após o levantamento das manifestações patológicas que acometem o REL, foi possível identificar a posição cardeal com maior incidência de problemas. Neste caso, a posição sul mostrou-se mais suscetível a ocorrência de danos (Figura 6).

Figura 6 – Percentual de manifestações patológicas por posição cardeal/localização.



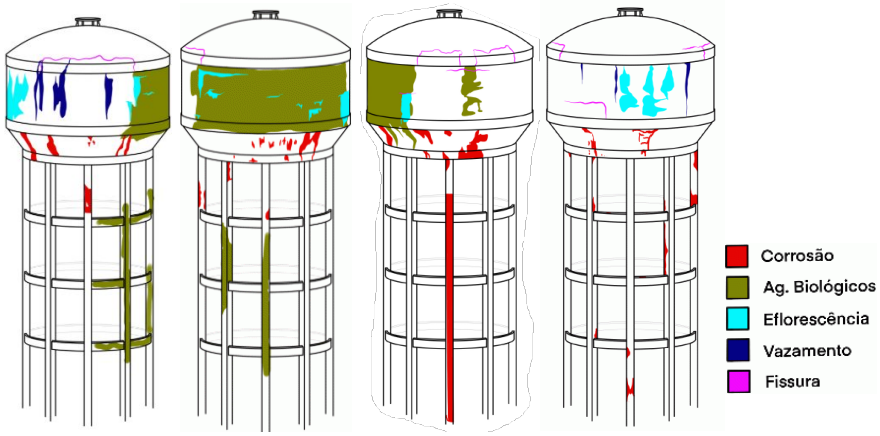
Fonte: os autores.

Esse comportamento credita-se à direção do vento na região metropolitana de Recife acontecer majoritariamente no quadrante Sul, de fevereiro a setembro, assim como a proximidade ao mar e por estar constantemente exposto ao monóxido de carbono emitido pelos veículos que transitam pela rodovia a qual está situado, sendo a posição Sul do REL voltada para a rodovia.

3.2 Mapas de danos do REL Indaiá

Após a análise, identificação, localização, caracterização e quantificação das manifestações patológicas que acometem os REL foi possível construir os mapas de danos das respectivas posições cardeais e da tampa do REL, conforme exemplificado na Figura 7, através dos ortomosaicos exportados para o AutoCAD.

Figura 7 – Mapas de danos das posições Norte, Oeste, Sul e Leste, respectivamente.



Fonte: Autores (2026).

Este recurso é importante para demonstrar graficamente e facilitar a identificação visual das características, tipos e distribuição das manifestações patológicas incidentes no REL. Conforme observa-se nos mapas de danos, a corrosão é o problema de maior incidência, assim como identificado na análise quantitativa dos danos.

3.3 Análise da severidade e risco

A partir das informações sobre as manifestações patológicas, como tipo, classificação, distribuição e localização, foi possível analisar a severidade, risco ou grau de prioridade e as áreas críticas do REL, em função dos danos identificados, dividindo-o em quatro partes: torre (superestrutura), laje inferior, tanque e tampa.

A severidade foi analisada empregando-se a metodologia GUT (Grau, Urgência e Tendência), conforme Quadro 2. A definição do risco ou grau de prioridade das manifestações patológicas identificadas observou a NBR 16747 (ABNT, 2020) e a norma de inspeção predial do Instituto Brasileiro de Avaliação e Perícas de Engenharia (IBAPE, 2025) (Quadro 3), tendo em vista que não existe norma específica para a inspeção de RELs, e, por fim, foram definidas as áreas críticas do REL, conforme observa-se no Quadro 4.

Quadro 2 – Metodologia GUT.

		GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
Máxima	10	risco à vida / colapso da edificação	evolução imediata	evento em ocorrência
Alta	8	ferimentos/danos à saúde	evolução a curto prazo	evento a ocorrer
Média	6	Insalubridade /deterioração	evolução a médio prazo	prognóstico p/ breve
Baixa	3	incômodo/degradação	evolução a longo prazo	prognóstico p/ adiante
Mínima	1	depreciação	não evoluirá	evento imprevisto

Fonte: Autores (2026).

A classificação da severidade através da metodologia GUT se dá através da multiplicação dos valores atribuídos a cada elemento, podendo alcançar pontuação máxima de 1000 pontos.

Quadro 3 – Quadro para determinação de risco/grau de prioridade.

Prioridade 1	Quando a perda de desempenho compromete a saúde e/ou a segurança dos usuários, uncionalidade dos sistemas construtivos, durabilidade, aumento expressivo de custo de manutenção e de recuperação, possui riscos ambientais e possíveis paralisações.
Prioridade 2	Quando a perda parcial de desempenho (real ou potencial) tem impacto sobre a funcionalidade da edificação, sem prejuízo à operação direta de sistemas e sem comprometer a saúde e segurança dos usuários.
Prioridade 3	Quando a perda de desempenho pode ocasionar pequenos prejuízos à estética ou quando as ações necessárias são atividades programáveis e passíveis de planejamento, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor da edificação.

Fonte: adaptado de ABNT (2020).

A determinação do grau de risco ou prioridade é importante para direcionar os gestores do REL sobre quais sistemas necessitam de atenção prioritária e rápida intervenção e quais podem ser corrigidos em momento oportuno, porém sem permitir a sua evolução.

Quadro 4 – Análise das condições do REL em função das manifestações patológicas.

Manifestação Patológica	Severidade (GUT)	Risco/Grau de prioridade	Áreas Críticas
Corrosão	1000	1	Torre e Laje inferior
Armadura exposta	1000	1	Torre e Laje inferior
Eflorescência	108	3	Tanque e Tampa
Agentes biológicos	54	3	Tanque e Tampa
Desplacamento	640	2	Torre e Laje inferior
Fissuras e trincas	384	2	Torre, Laje inferior e Tanque
Vazamento	360	2	Tanque e Tampa

Fonte: Autores (2026).

Desta forma, observa-se que a corrosão e a exposição de armaduras figuram com severidade máxima e, portanto, atribuído risco/grau de prioridade 1, as quais relacionam-se à torre e à laje inferior do tanque. Essa avaliação mostra-se importante, pois, o decréscimo do desempenho da superestrutura, responsável pela transmissão das cargas do tanque para as fundações, pode acarretar em risco segurança da população residente no entorno do REL.

3.4 Discussão técnica sobre implicações estruturais

Os reservatórios elevados de água (RELs) demandam manutenção contínua e sistemática para evitar riscos estruturais e comprometimento da qualidade da água (Hu et al., 2021). Por estarem permanentemente expostos a agentes ambientais, como vento, chuvas, maresia e poluentes atmosféricos provenientes de veículos e indústrias, essas estruturas sofrem degradação progressiva, reduzindo sua vida útil e favorecendo o surgimento de danos estruturais (Silva et al., 2020). Esse cenário intensifica a necessidade de inspeções mais frequentes e criteriosas, além de reduzir o intervalo entre manutenções preventivas.

Entretanto, intervenções de manutenção ou recuperação em RELs são frequentemente postergadas devido à necessidade de interromper o abastecimento, impactando diretamente a população (Souza, 2014; Medeiros da Silva, 2025). A ausência de manutenção preventiva compromete a durabilidade das estruturas e está associada a 66% dos acidentes relacionados a falhas de uso e conservação (IBAPE, 2025). Além disso, o descaso com a deterioração ou a realização de reparos superficiais pode resultar em reforços estruturais onerosos, demolições ou acidentes, situações que poderiam ser evitadas por meio de ações de reabilitação oportunas e manutenção preventiva periódica (Toretti e Speck, 2017; Medeiros da Silva, 2025).

3.5 Avaliação da aplicabilidade do VANT no caso do REL Indaiá

As inspeções de danos estruturais em reservatórios elevados de água são tradicionalmente realizadas por profissionais de alpinismo industrial, método que envolve custos elevados, maior tempo de execução e riscos operacionais. Em comparação, o uso de VANT permite a obtenção de imagens e vídeos aéreos em alta resolução de todo o entorno da estrutura, com maior agilidade e segurança (Medeiros da Silva, 2025). Segundo Oliveira et al. (2021), essa tecnologia emergente pode reduzir a equipe de três alpinistas para um único operador, diminuir os custos a aproximadamente um terço do método convencional e reduzir o tempo de inspeção de até oito dias para cerca de três horas, além de aumentar produtividade e precisão.

Do ponto de vista operacional, o VANT apresenta interface intuitiva, boa integração entre hardware e software e sensores eficientes para garantir segurança e qualidade dos dados. Contudo, mostra-se sensível a condições climáticas adversas, como chuva, ventos intensos e variações de luminosidade, que podem comprometer a estabilidade e a qualidade das imagens, além de estar sujeito a interferências externas, como ataques de aves. Obstáculos no entorno do reservatório também podem limitar a operação automatizada, exigindo, em alguns casos, voo manual para maior segurança do equipamento e da equipe envolvida.

Para contornar essas limitações sugere-se:

- aquisição de VANT que suporte chuva e ventos fortes.
- integrar o VANT a tecnologias menos suscetíveis à variação da luminosidade, tais quais câmeras termográficas e sensores LiDAR.
- Investir em protetores de hélice e paraquedas para VANT para prevenir danos e quedas em caso de colisão e ataques de pássaros.
- Treinamento contínuo do piloto, assim como atualização frequente para acompanhar o desenvolvimento tecnológico.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados encontrados neste estudo, é possível realizarmos uma síntese do diagnóstico do REL Indaiá e da viabilidade da aplicação do VANT como ferramenta de inspeção de manifestações patológicas.

4.1 Síntese do diagnóstico do REL Indaiá

Conclui-se que o REL Indaiá apresenta elevada incidência de danos estruturais, com necessidade de intervenção prioritária (Prioridade 1) na torre e na laje inferior do tanque, em razão da presença de corrosão e armaduras expostas. Essas condições comprometem o desempenho estrutural e a capacidade de armazenamento, podendo afetar a continuidade do abastecimento e, consequentemente, a qualidade de vida da população atendida.

Em nível intermediário (Prioridade 2), destacam-se desplacamentos, fissuras e vazamentos, que podem agravar o comprometimento estrutural e ocasionar perdas de água potável, evoluindo para situações mais críticas caso não sejam tratados. Por fim, as eflorescências e o ataque de agentes biológicos foram classificados como Prioridade 3, por, inicialmente, afetarem aspectos estéticos, mas indicarem a presença de umidade, podendo evoluir para danos mais significativos ao longo do tempo se não houver intervenção adequada.

4.2 Viabilidade do VANT como ferramenta de inspeção

O VANT demonstrou-se eficaz na inspeção do REL, destacando-se pela versatilidade, facilidade de operação e capacidade de capturar imagens em alta resolução, possibilitando a geração de modelos 3D, ortomosaicos e registros fotográficos detalhados. O equipamento apresentou interface intuitiva, boa integração entre hardware e software e sensores eficientes para evitar colisões. Entretanto, mostrou-se sensível a condições climáticas adversas, como chuva e ventos superiores a 36 km/h, e vulnerável a interferências externas, como ataques de aves.

Diante dessas limitações, recomenda-se a utilização de VANT com resistência à água e maior tolerância a ventos, bem como a instalação de protetores de hélices para aumentar a segurança operacional. Também é fundamental que o piloto mantenha atualização técnica contínua, realizando treinamentos periódicos. Por fim, o equipamento deve passar por manutenções regulares, conforme orientações do fabricante, a fim de assegurar o desempenho adequado de câmeras, sensores e componentes essenciais ao voo.

4.3 Sugestões para estudos futuros

Estudos futuros devem focar na ampliação da quantidade de estudos de caso, visando fortalecer a relação de incidência de manifestações patológicas, desenvolvendo um protocolo metodológico do emprego do VANT com câmera termográfica integrada para inspeção de danos em RELs, aplicando técnicas de automatização do processo de identificação, caracterização e classificação de anomalias, favorecendo a construção de mapas de danos e o monitoramento contínuo da infraestrutura hídrica, contribuindo ainda para o desenvolvimento de um banco de dados para treinamento de *machine learning* e análise baseada em inteligência artificial (CNNs e YOLO).

REFERÊNCIAS

AGISOFT PhotoScan. **User Manual:** Professional edition, Version 2.1. 2024. 231 p.

ALMEIDA, P. J. M. **Análise e avaliação do estado de conservação dos reservatórios elevados dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Almada.** Dissertação (Grau de Mestre em Engenharia e Gestão da Água) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **ABNT** N**BR 16747**: Inspeção predial – Diretrizes, conceito, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro, 2020.

BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 119-137, jan. 2021. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s1678-86212021000100497.

Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA. **Instrução do Comando da Aeronáutica – ICA 100-40:** Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro. Brasília, 2023.

Fundação Jorge Duprat Figueiredo de segurança e medicina do trabalho (FUNDACENTRO). Centro Técnico Nacional. São Paulo, 2022.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1993.

HU, Dong *et al.* A comprehensive investigation of the microbial risk of secondary water supply systems in residential neighborhoods in a large city. **Water Research**, [S.L.], v. 205, p. 117690, out. 2021. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117690.

IBAPE. **Norma de Inspeção Predial**. São Paulo: IBAPE. 2025. 27p.

MEDEIROS DA SILVA, E. G. et al. Inspection of elevated water reservoirs using unmanned aerial vehicle: case studies. **Structural Health Monitoring**, v. 00 (0), 2025.

OLIVEIRA, A. A. e*t al.* Inspeção de manifestações patológicas em fachadas utilizando aeronaves remotamente pilotadas. **Mackenzie**. São Paulo, 2021.

PIMENTEL, T. E. *et al.* Análise de manifestações patológicas e proposta de recuperação estrutural de um reservatório suspenso. **Revista Thema**, Pelotas, v. 19, n. 3, p. 760–773, 2021. DOI: 10.15536/thema. v. 19.2021.760-773.2151.

PITOMBEIRA, K. M.; REIS FILHO, A. A. Geração e análise de produtos cartográficos por fotogrametria com o uso de structure from motion – multi view stereo. **Brazilian Journals Editora.** ed. 1. 2020. 92 p.

SILVA, Everton Gabriel Medeiros da. **Inspeção de manifestações patológicas em reservatórios elevados de água com veículo aéreo não tripulado (VANT).** Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2024.

SILVA, L. A. *et al.* Estudo sobre patologia estrutural em um reservatório de água de concreto armado. **Revista Augustus**, [S.L.], v. 25, n. 50, p. 66-80, 23 mar. 2020. Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta -UNISUAM. DOI: 10.15202/1981896.2020v25n50p66.

SILVA, L. S. e*t al.* Fotogrametria com imagens adquiridas com drones: do plano de voo ao modelo 3D. **Editora Universidade de Brasília**, Brasília, 2022.

SOUZA, A. K. L. **Identificação das manifestações patológicas em reservatório de água executado em concreto armado em condomínio unifamiliar – estudo de caso**. 2014. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil - Especialização), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

TEIXEIRA, G.; SILVA, J.; ALVES, E. Principais manifestações patológicas de um edifício em Anápolis-GO. **CINPAR**, 2021.

TORETTI, G.; SPECK, J. A. **Proposta de metodologia para tratamento de patologias recorrentes em reservatórios de água potável, em concreto armado**. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC - como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil. 2017.

CAPÍTULO 106 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/2aejf986
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/36ydhw37

DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DE FACHADAS ARGAMASSADAS COM REDUÇÃO DE ADERÊNCIA: PROTOCOLO MULTIENSAIO INTEGRADO COMO FUNDAMENTO TÉCNICO PARA TOMADA DE DECISÃO EM RETROFIT

Vitor Hugo Astun Dionisio[1]*, Lorena Mizue Kihara[2]; Paulo Sérgio da Silva[3] e Berenice Martins Toralles[4]
*Autor de contato: vitorhdionisio@gmail.com

[1] Adenge Engenharia Ltda., Londrina, Paraná, Brasil
[2] Adenge Engenharia Ltda., Londrina, Paraná, Brasil
[3] Planville Engenharia Ltda., Curitiba, Paraná, Brasil
[4] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta estudo de caso da fachada oeste de um edifício (Londrina/PR, 21 pavimentos), investigado por duas equipes técnicas distintas ao longo de 20 meses (abr/2024–nov/2025), com uma metodologia investigativa aplicada por meio de seis ensaios complementares: percussão, inspeção por drone, termografia infravermelha, ensaios de aderência à tração (132 corpos de prova), ensaios de injeção por resina fluida e ensaios laboratoriais. A tese central é que a quantidade e a diversidade dos ensaios de investigação, e não apenas um único parâmetro normativo, são determinantes para a fundamentação técnica da decisão de retrofit. Os ensaios de aderência revelaram resistências médias entre 0,05 MPa e 0,39 MPa (média 0,18 MPa na face oeste), com modo de ruptura predominantemente coesivo (56%), indicando que os valores medidos subestimam a aderência real de interface. A evolução de 6,6% (2024) para 10,1% (2025) da área com som cavo confirmou degradação gradual, não catastrófica. Os ensaios de injeção demonstraram a inviabilidade técnica de preenchimento por resinas fluidas, confirmando mecanicamente que as falhas ocorrem no interior do emboço, sem vazios interligados. A resistência superficial satisfatória do emboço (11/12 ≥ 0,50 MPa) viabilizou intervenção seletiva. Propõe-se modelo decisório de quatro etapas que integra todos os ensaios e classifica zonas de risco distinto, racionalizando as intervenções.

Palavras-chave: Fachadas; Aderência; Termografia; Ensaio de Injeção; Avaliação de Risco; Retrofit.

ABSTRACT

This paper presents a case study of the west facade (Londrina/PR, 21 floors), investigated by two independent technical teams over 20 months (Apr/2024–Nov/2025) using six complementary methods: manual percussion, drone inspection, infrared thermography, pull-off adhesion tests (132 specimens), fluid resin injection trials, and laboratory tests. The central thesis is that the breadth and diversity of investigation methods — not a single normative parameter — are essential for technically grounded retrofit decisions. Adhesion values ranged from 0.05 to 0.39 MPa (mean 0.18 MPa), with predominantly cohesive failure mode (56%), indicating measured values underestimate real interface adhesion. Hollow-sound area progressed from 6.6% (2024) to 10.1% (2025), confirming gradual, non-catastrophic degradation. Injection tests demonstrated technical infeasibility of void-filling, mechanically confirming that failures occur within the mortar body. Satisfactory surface resistance of the mortar substrate (11/12 ≥ 0.50 MPa) enabled selective intervention. A four-stage decision model integrating all methods and classifying zones by distinct risk profiles is proposed.

Keywords: Facades; Adhesion; Thermography; Injection Testing; Risk Assessment; Retrofit.

1. INTRODUÇÃO

Fachadas revestidas com argamassa inorgânica cimentícia constituem o sistema de vedação e proteção mais empregado em edificações residenciais multifamiliares no Brasil. Sua durabilidade e desempenho dependem da interação entre múltiplas variáveis de projeto, execução e uso, tornando o diagnóstico patológico uma atividade de elevada complexidade técnica (GASPAR; BRITO, 2005; BAUER; SILVA, 2012). Entre as manifestações patológicas mais recorrentes e de maior impacto econômico destaca-se a redução da resistência de aderência à tração do revestimento, que pode evoluir para o desplacamento das camadas argamassadas, com riscos à segurança de usuários e transeuntes.

Em edificações de grande porte, a investigação dessas manifestações demanda protocolos que integrem ensaios com diferentes princípios físicos e diferentes escalas de observação. Procedimentos baseados em único parâmetro normativo, como o resultado isolado dos ensaios de resistência de aderência à tração previstos na ABNT NBR 13528 (ABNT, 2019), têm demonstrado limitações quando aplicados como critério decisório exclusivo, especialmente em casos em que os dados quantitativos isolados não refletem com precisão o risco real de desplacamento (FLORES-COLEN; BRITO, 2010; VEIGA, 2009).

A resistência de aderência à tração é um dos principais parâmetros de avaliação do desempenho de revestimentos argamassados externos. A ABNT NBR 13528 (ABNT, 2019) estabelece valores mínimos para aceitação do sistema, e é frequente que a prática profissional adote, como critério decisório único, o binômio conforme/não conforme, ou seja, resultados abaixo do valor mínimo são diretamente associados à necessidade de remoção integral do revestimento.

Porém, a realidade de campo revela situações em que edificações apresentam não conformidade normativa sem histórico de desplacamentos expressivos, sem evolução acelerada das manifestações e sem indícios de falha generalizada iminente. Esse aparente paradoxo evidencia a insuficiência de diagnósticos baseados em parâmetros isolados.

O presente trabalho tem como objetivo demonstrar que a aplicação de um protocolo multiensaio integrado, composto por percussão manual, inspeção por drone, termografia infravermelha, ensaios de resistência de aderência à tração, ensaios de injeção por resina fluida e ensaios de resistência superficial, é condição necessária para a fundamentação técnica de decisões de retrofit em fachadas com redução de aderência. A hipótese central é que a análise normativa binária isolada (conforme/não conforme) é insuficiente para decisões de alto impacto econômico e operacional, e que a leitura integrada dos resultados dos ensaios, considerando comportamento estatístico, distribuição espacial das anomalias, modo de ruptura, características construtivas e histórico de desempenho, constitui a base metodológica para uma avaliação de risco tecnicamente fundamentada, com proporcionalidade entre o diagnóstico e a intervenção recomendada.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Mecanismos de degradação em revestimentos argamassados

O desempenho de revestimentos externos está associado à interação entre substrato, chapisco, emboço e acabamento superficial. A degradação desses sistemas é resultado de processos físicos, químicos e mecânicos que atuam simultaneamente ao longo do ciclo de vida da edificação. Gaspar e Brito (2005) demonstram que os mecanismos de degradação em fachadas são progressivos e

multifatoriais, envolvendo retração por secagem, movimentações estruturais e ciclos térmicos repetitivos. Segundo os autores, o descolamento é considerado o estado limite para fachadas revestidas com argamassa de emboço, definindo o fim de sua vida útil. Bauer et al. (2020) reforçam que a severidade da degradação em fachadas não é linear e que a sobreposição de diferentes manifestações patológicas, como fissuras, umidade e perda de aderência, amplifica a velocidade de deterioração do sistema. Souza et al (2023) demonstram, com base em levantamento em quatro edifícios residenciais em Brasília, que o descolamento é a anomalia mais recorrente em revestimentos argamassados e que a transição entre pavimentos constitui a zona de maior susceptibilidade à degradação, resultado coerente com a concentração de anomalias observada nos pavimentos intermediários da fachada oeste analisada no presente estudo.

A perda de aderência pode ocorrer em diferentes interfaces (substrato/chapisco, chapisco/emboço ou internamente no emboço), e cada localização de ruptura possui implicação distinta para a avaliação do risco de desplacamento e para a definição da estratégia de intervenção (ABNT NBR 13528, 2019). Dias, Flores-Colen e Silva (2021) destacam que a inspeção visual e a percussão manual, embora largamente empregadas, possuem limitações intrínsecas de resolução e cobertura, o que justifica a utilização de tecnologias complementares, como a termografia infravermelha e a inspeção por drone, em protocolos diagnósticos de edificações de maior porte e complexidade.

A fachada oeste é particularmente vulnerável em edificações altas, pois recebe incidência solar intensa no período vespertino, em Londrina/PR, após as 12h, gerando gradientes térmicos elevados entre a face externa do revestimento e o substrato estrutural (ABNT NBR 13749, 2013). Esses gradientes induzem tensões de tração na interface argamassa-substrato que, ao superar a resistência local de aderência, desencadeiam o processo de desplacamento (BAUER; SILVA, 2012).

2.2 Espessura de revestimento e suas implicações mecânicas

A espessura do revestimento argamassado é uma das variáveis de execução com maior influência sobre o comportamento mecânico do sistema ao longo de sua vida útil. A ABNT NBR 13749 (ABNT, 2013) recomenda espessuras de revestimento externo entre 20 mm e 30 mm, prevendo que, para espessuras superiores, devem ser adotadas medidas específicas para garantir a aderência, como por exemplo o uso de telas metálicas. Maciel et al. (1998) indicam que, para espessuras entre 30 mm e 50 mm, deve-se realizar a aplicação em duas demãos. Ceotto et al. (2005) reforçam a necessidade de maior energia de impacto na execução e de sistemas intermediários de ancoragem para espessuras superiores.

Mehta e Monteiro (2014) demonstram que tensões de origem térmica e hidráulica podem gerar solicitações de tração na interface superiores à capacidade resistente local, sobretudo quando há restrição de deformação e espessura elevada. A ampliação da espessura aumenta tanto a massa sujeita a dilatação e contração quanto a distância entre a face livre (termicamente instável) e o substrato (termicamente mais amortecido), amplificando o gradiente de deformação diferencial. Essa condição é agravada quando a espessura excede os limites normativos sem a adoção de ancoragem intermediária, uma vez que a interface entre camadas de argamassa sobrepostas constitui plano preferencial de ruptura coesiva sob solicitações cíclicas de tração (CEOTTO et al., 2005). Em edificações altas localizadas em regiões com elevada amplitude térmica diária, como é o caso do norte do estado do Paraná, a fachada de orientação oeste está sujeita a gradientes térmicos particularmente severos, com variações que podem superar 30 °C entre o período noturno e o auge da insolação vespertina, intensificando as tensões induzidas na interface revestimento-substrato (ABNT NBR 13749, 2013). Santos et al. (2025), em ensaios realizados com sistemas de

revestimento monocamada submetidos a ciclagens térmicas, registraram reduções de aderência de 20,37% em blocos de vedação e de 39,62% em blocos estruturais após exposição térmica, confirmando que a variação de temperatura é variável determinante para a degradação progressiva da resistência de aderência ao longo da vida útil do revestimento.

2.3 Limitações do ensaio de aderência à tração como critério decisório único

O ensaio de resistência de aderência à tração, normatizado pela ABNT NBR 13528 (ABNT, 2019), possui natureza pontual e destrutiva. Sua extrapolação para o conjunto da fachada pressupõe homogeneidade do sistema, condição raramente verificada em edificações com revestimentos executados in loco.

A norma estabelece que, quando a ruptura ocorre coesivamente nas camadas de argamassa e não na interface substrato/chapisco ou chapisco/argamassa, a resistência de aderência real é maior do que o valor obtido no ensaio. Esse aspecto técnico, frequentemente ignorado na interpretação prática dos resultados, tem implicação direta na avaliação de risco, ou seja, valores baixos associados a rupturas coesivas não indicam falha de interface, mas sim falha interna da argamassa, com significado distinto para a avaliação da estabilidade do sistema.

Flores-Colen e Brito (2010) e Veiga (2009) demonstram que sistemas cimentícios submetidos a ciclos térmicos apresentam comportamento altamente dependente da espessura e das condições de restrição, reforçando a necessidade de interpretação contextualizada dos resultados laboratoriais. Em cenários de não conformidade normativa com predominância de rupturas coesivas, a decisão de remoção integral do revestimento com base exclusiva nos valores de aderência medidos representa uma interpretação conservadora que pode implicar custos de intervenção significativamente superiores ao necessário. A integração de ensaios complementares, especialmente a termografia infravermelha, a percussão sistemática e os ensaios de resistência superficial, permite qualificar o diagnóstico e diferenciar zonas de risco elevado, intermediário e baixo dentro de uma mesma fachada. Dias, Flores-Colen e Silva (2021) demonstram que a combinação de técnicas remotas (drone, termografia) com ensaios destrutivos pontuais constitui a fronteira do estado da prática em inspeção predial de fachadas, viabilizando diagnósticos com maior precisão espacial e fundamentação técnica mais robusta para as decisões de manutenção e retrofit.

3. METODOLOGIA

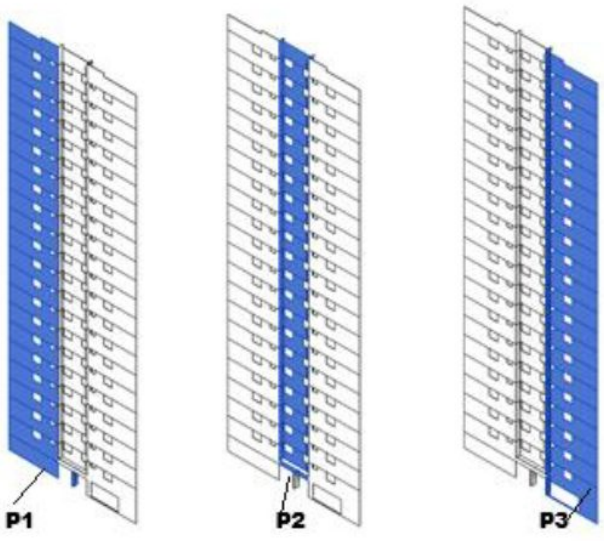
3.1 Caracterização do objeto de estudo

A edificação analisada é na cidade de Londrina/PR, com 21 pavimentos e aproximadamente 88,8 m de altura, com cerca de nove anos de uso no momento da investigação. O sistema de fachadas é constituído por emboço em argamassa inorgânica cimentícia, finalizado com revestimento texturizado. A investigação concentrou-se prioritariamente na fachada oeste, voltada ao poente, com incidência solar direta a partir do período do meio-dia, identificada como de maior criticidade. Para fins comparativos, foram também investigadas regiões da fachada leste.

Para fins de setorização, a fachada oeste foi segmentada em três panos: P1 (esquerdo), P2 (central) e P3 (direito), para estruturação das intervenções e quantificação diferenciada dos danos.

Figura 1 – Fachada ensaiada.





3.2 Etapas e procedimentos da investigação

A investigação estruturou-se em três fases ao longo de 20 meses, conduzidas por equipes técnicas distintas com metodologias complementares:

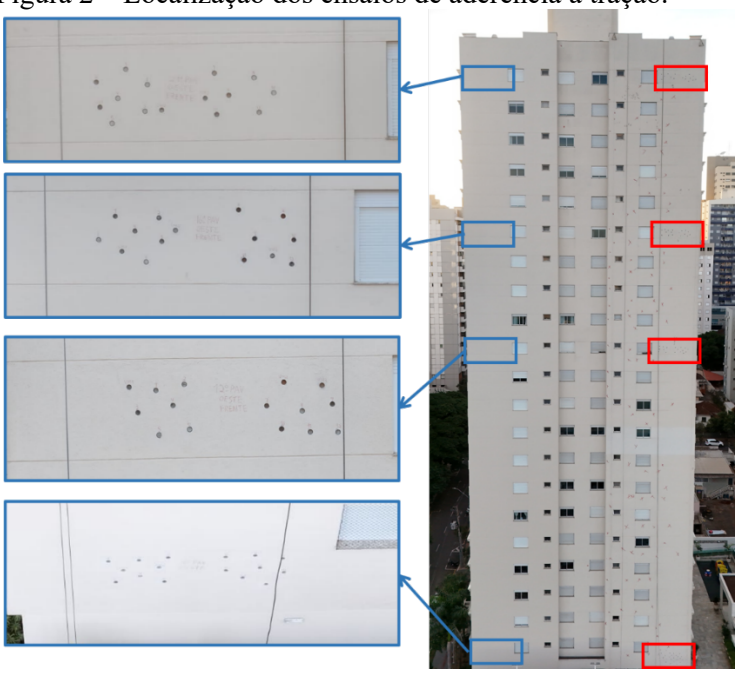
Fase 1 — Percussão e inspeção visual: Percussão integral da superfície com martelete de percussão em toda a extensão da fachada oeste, acessada por balancim e rapel. As regiões com som cavo foram demarcadas e registradas. Inspeção visual por drone com mapeamento de fissuras diagonais a 45° e horizontais. A fase inicial identificou aproximadamente 98 m² (6,6% da área total) com som cavo, distribuída de forma não contínua.

Fase 2 — Ensaios destrutivos de aderência: Duas campanhas de ensaios de resistência de aderência à tração, conforme ABNT NBR 13528 (ABNT, 2019). Foram ensaiados 9 painéis na fachada oeste

(21º, 16º, 12º e 1º pavimentos lado direito; térreo e 21º, 16º, 12º e 1º pavimentos lado esquerdo) e 2 painéis comparativos na fachada leste (1º pavimento, apartamentos 102 e 103). Cada painel contemplou 12 corpos de prova circulares de 50 mm de diâmetro, extraídos por corte diamantado com dessolidarização de 1 a 5 mm no substrato, com dinamômetro TRANSTEC MAR-101. Total: 132 corpos de prova (108 na fachada oeste, 24 na fachada leste). Foram também abertas janelas de verificação nas fachadas oeste e leste para medição de espessura e avaliação da execução.

Fase 3 — Investigação multiensaio: A terceira fase incorporou quatro ensaios complementares: nova campanha de percussão com delimitação das áreas por fitas verdes e vetorização em modelo tridimensional da fachada; termografia infravermelha por drone, registros de imagem térmica e visual em alta resolução e análise dinâmica do comportamento térmico; ensaios de injeção por resina fluida e simulação de pinagem química em áreas comprovadamente ocas e ensaios laboratoriais de campo: resistência de aderência à tração, resistência da textura sobre emboço e resistência superficial do emboço, todos com 12 corpos de prova.

Figura 2 – Localização dos ensaios de aderência à tração.



3.3 Análise estatística e classificação do modo de ruptura

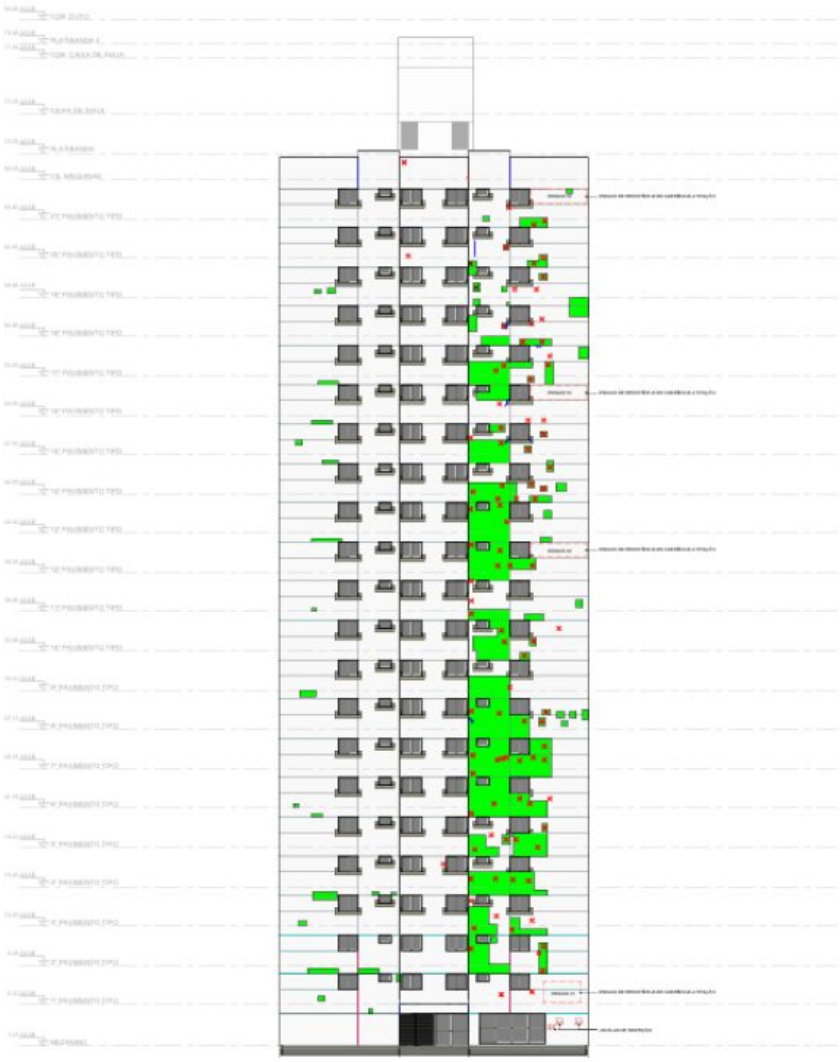
Os resultados dos ensaios de aderência foram submetidos à análise estatística descritiva por painel, com determinação de média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação. O modo de ruptura foi classificado conforme ABNT NBR 13528 em: coesivo entre camadas de argamassa (argamassa/argamassa), coesivo na argamassa de chapisco, adesivo na interface substrato/chapisco e adesivo na interface chapisco/argamassa. A distinção entre rupturas coesivas e adesivas constitui variável analítica central deste estudo.

4. RESULTADOS

4.1 Percussão: evolução temporal das anomalias

A comparação entre as Fases 1 e 3 documenta a progressão temporal das regiões com som cavo (Tabela 1). O incremento de 6,6% para 10,1% em 19 meses confirma degradação gradual. O pano P3 concentra a maior criticidade com 118,25 m², equivalente a 21,5% da área desse pano. Não foram registrados desplacamentos ao longo de todo o período investigativo (10 anos de uso). A taxa de progressão observada de aproximadamente 0,18 pontos percentuais por mês, indica processo de degradação ativo, porém controlado, sem evidências de aceleração exponencial ou de limiar crítico iminente. A distribuição espacial não contínua das regiões com som cavo, concentrada no pano P3 e em pavimentos intermediários da fachada oeste, é coerente com os efeitos combinados de espessura excessiva do emboço e de maior exposição à radiação solar vespertina nessas regiões. A ausência de desplacamentos em mais de 10 anos de uso constitui dado comportamental relevante para a qualificação do risco, segundo Gaspar e Brito (2005), a inexistência de histórico de desplacamentos em edificações com não conformidade normativa de aderência indica que o sistema ainda não atingiu o estado limite de ruptura, o que demanda avaliação diferenciada da urgência e do escopo da intervenção.

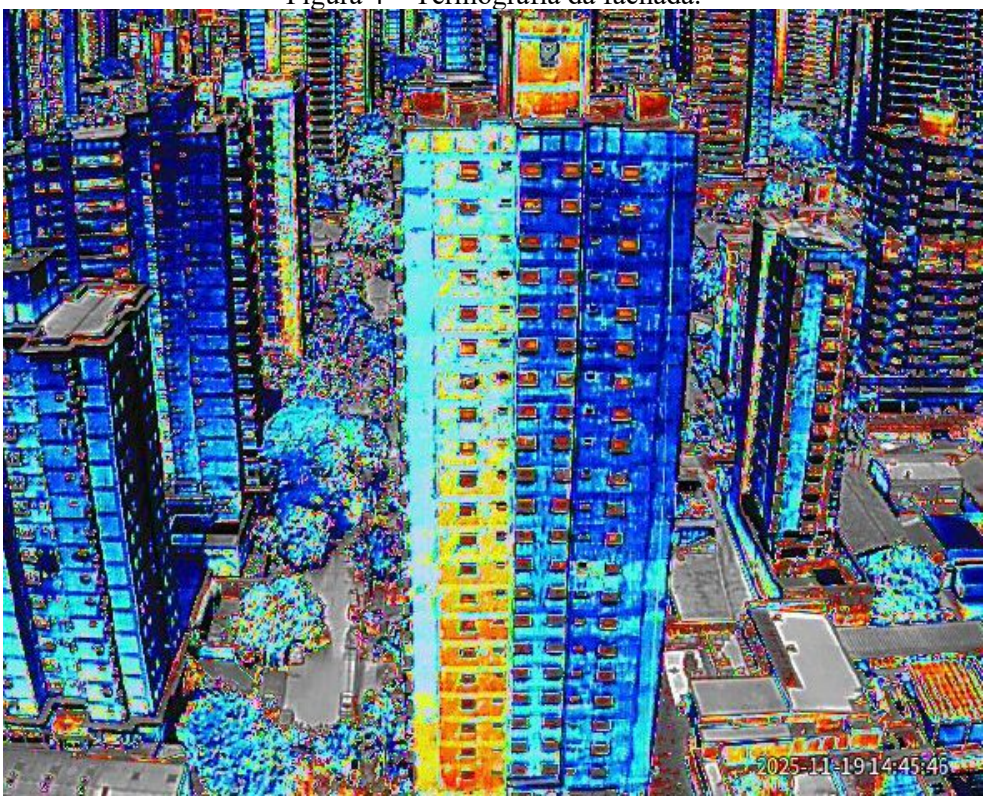
Figura 3 – Mapeamento das áreas com presença de som cavo na fachada por meio do ensaio de percussão.



4.2 Termografia infravermelha

A inspeção termográfica por drone identificou anomalias térmicas negativas em coincidência recorrente com as regiões detectadas por percussão, acrescentando identificação de umidade subsuperficial em trechos com fissuras ativas e juntas comprometidas. A correlação entre dois ensaios fisicamente independentes reforça a confiabilidade do mapeamento diagnóstico. O pano P3 apresentou anomalias de maior extensão e intensidade, enquanto P1 exibiu degradação parcial não homogênea e P2 mostrou manifestações pontuais. A concordância espacial entre as anomalias termográficas e as regiões de som cavo mapeadas por percussão é tecnicamente significativa, pois ela indica que os dois ensaios detectam a mesma condição patológica por vias físicas independentes, sendo o primeiro pela variação de condutividade térmica associada à perda de contato entre camadas, o segundo pela resposta acústica à existência de descontinuidades internas. Essa convergência reduz a margem de incerteza diagnóstica e confere maior rigor à delimitação das zonas de intervenção. A detecção adicional de umidade subsuperficial por termografia em trechos com fissuras ativas também é dado qualitativo relevante, pois a presença de umidade na interface aumenta a susceptibilidade à expansão higrotérmica e pode acelerar a progressão das anomalias de aderência (DIAS; FLORES-COLEN; SILVA, 2021).

Figura 4 – Termografia da fachada.



4.3 Ensaios de aderência à tração

A Tabela 1 consolida os resultados das Fases 2 e 3. A fachada leste (referência) registrou média de 0,39 Mpa, sendo resultado satisfatório conforme ABNT NBR 13528 (ABNT, 2019), com espessura média de 26,81 mm, dentro do intervalo normativo. A face oeste apresentou média de 0,18 MPa, com espessuras variando de 22 mm a 87,7 mm. Os ensaios Fase 3 confirmaram os resultados da

Fase 2, com apenas 2/12 CPs ≥ 0,30 MPa. Oito dos nove painéis da fachada oeste resultaram em não conformidade normativa. A análise por painel revela variabilidade expressiva, com coeficientes de variação (CV) entre 51% e 119%, o que é indicativo de heterogeneidade do sistema ao longo da fachada, sendo um fato que por si só já inviabiliza a extrapolação de um resultado pontual para o conjunto do revestimento. A correlação inversa entre espessura e resistência de aderência é evidente nos dados, com o único painel com resultado satisfatório na fachada oeste (21º pav. esq., 0,39 MPa) coincidindo com a menor espessura registrada (22,54 mm), enquanto os painéis mais críticos (12º pav. dir., 0,05 MPa; térreo, 0,15 MPa) apresentam espessuras entre 53 mm e 87,7 mm. Esse padrão é compatível com o mecanismo descrito por Mehta e Monteiro (2014) e reforça que a espessura do revestimento é variável determinante para a compreensão dos resultados observados.

Tabela 1 — Resultados dos ensaios de aderência à tração por painel

Painel / Pavimento	Esp. méd. (mm)	Esp. máx. (mm)	Tensão méd. (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Fase
F. Oeste Dir. – 21º pav.	50,87	63,90	0,22	0,13	61	2
F. Oeste Dir. – 16º pav.	53,82	76,40	0,13	0,09	67	2
F. Oeste Dir. – 12º pav.*	53,98	63,10	0,05	0,06	119	2
F. Oeste Dir. – 1º pav.	53,48	54,20	0,17	0,14	85	2
F. Oeste Esq. – Térreo	54,43	87,70	0,15	0,10	71	2
F. Oeste Esq. – 21º pav.**	22,54	49,90	0,39	0,20	51	2
F. Oeste Esq. – 16º pav.	52,02	75,00	0,19	0,19	98	2
F. Oeste Esq. – 12º pav.	38,77	66,30	0,17	0,12	68	2
F. Oeste Esq. – 1º pav.	37,37	50,30	0,14	0,12	86	2
F. Leste – ref.	26,81	47,10	0,39	0,20	51	2
F. Oeste – Pano P3	60–80	—	≤ 0,30†	—	—	3

** Região de maior criticidade (vazios entre cheias documentados).*

*** Único painel com resultado satisfatório. 2/12 CPs ≥ 0,30 MPa.*

Fonte: Adenge/Tecblocos (2024); Planville/CDTEC (2025).

4.4 Ensaios de injeção e modo de ruptura

Os ensaios de injeção por resina fluida (IRF) em áreas ocas do pano P3 demonstraram impossibilidade técnica de permeação, porque a resina não fluiu para os vazios adjacentes e nem eliminou o som cavo. A abertura de testemunhos por serra-copo revelou espessuras de 60–80 mm com ruptura coesiva entre cheias sobrepostas, sem vazios interligados. Essa evidência experimental confirma o mecanismo identificado pelos ensaios de aderência, ou seja, a falha ocorre no interior do emboço por cisalhamento coesivo, não por perda de adesão ao substrato. Do ponto de vista da estratégia de intervenção, esse resultado possui implicação direta e de elevada relevância econômica. A inviabilidade técnica da injeção por resina elimina uma das opções de reforço minimamente invasivo para as regiões com maior espessura, direcionando a intervenção recomendável para a remoção seletiva das zonas com criticidade comprovada pelo conjunto de ensaios.

Na face oeste, o modo de ruptura predominante foi coesivo entre camadas de argamassa: 39% no pano direito, 71% no esquerdo, totalizando 56% do conjunto. Segundo a ABNT NBR 13528 (ABNT, 2019), rupturas coesivas nas camadas de argamassa indicam que a resistência real de interface é superior ao valor medido pelo ensaio, uma vez que o plano de ruptura não coincide com a interface crítica de aderência. Rupturas na interface substrato/chapisco, indicativas de falha primária de adesão e de maior risco efetivo de desplacamento, corresponderam a apenas 1% do total, demonstrando que o mecanismo predominante nesta fachada não é a perda de aderência ao substrato, mas o cisalhamento coesivo interno entre cheias sobrepostas do emboço. Essa distinção é fundamental para a correta avaliação de risco, um sistema com 56% de rupturas coesivas e apenas 1% de rupturas de interface apresenta perfil de risco substancialmente diferente de um sistema com ruptura predominantemente adesiva, mesmo que os valores absolutos de resistência sejam similares. A análise conjunta dos ensaios de injeção e da classificação do modo de ruptura fornece qualificação do diagnóstico que não seria obtida a partir dos valores de resistência isolados.

5. DISCUSSÃO

A análise normativa binária, aplicada isoladamente, indicaria remoção integral do revestimento da face oeste. A leitura integrada dos seis ensaios revela um panorama mais diferenciado e tecnicamente mais fundamentado.

Em primeiro lugar, a espessura é tratada como variável importante, sendo o único painel com resultado satisfatório (21º pav. esq., 0,39 MPa) coincide com a menor espessura da face oeste (22,54 mm). O painel mais crítico (12º pav. dir., 0,05 MPa) tem espessura média de 53,98 mm. A face leste (26,81 mm, 0,39 MPa) está dentro dos parâmetros normativos e apresenta aderência satisfatória. A correlação é consistente em todos os dados das três fases. A ausência de ancoragem intermediária entre as cheias, exigida pela ABNT NBR 13749 para espessuras >30 mm, agrava o comportamento sob solicitação térmica cíclica.

Segundo ponto é a identificação do modo de ruptura, pois 56% de rupturas coesivas significam que a interface emboço-substrato é mais resistente que o valor medido. A interpretação direta dos números superestima o risco de desplacamento. Os ensaios de injeção forneceram confirmação experimental importante, pois não existem vazios interligados que permitam o preenchimento, as "regiões ocas" detectadas por percussão são planos de fragilidade coesiva interna, não bolsões de ar com descolamento de interface.

Por último, a evolução temporal pode ser interpretada como dado de risco, pois o incremento de 6,6% para 10,1% em 20 meses demonstra degradação gradual, mas não catastrófica. A ausência de desplacamentos em mais de 10 anos de uso é evidência comportamental que qualifica o risco efetivo como moderado para a maior parte da fachada, exceto o 12º pavimento, lado direito, cuja combinação de resistência de 0,05 MPa, vazios documentados e fissuras ativas configura risco elevado e intervenção prioritária.

6. UTILIZAÇÃO DE MODELO DECISÓRIO

Com base no estudo de caso, propõe-se modelo de quatro etapas integradas para um diagnóstico, conforme utilizada neste caso, cuja ideia central é a progressividade metodológica, ou seja, cada etapa não substitui a anterior, mas a qualifica e permite refinar a classificação de risco.

Etapa 1 — Mapeamento global (percussão + drone + termografia): quantificação da área afetada, distribuição espacial, identificação de umidade e histórico de desplacamentos. Define escopo e prioridades para as etapas seguintes.

Etapa 2 — Quantificação com análise do modo de ruptura (ensaios de aderência distribuídos): obrigatoriamente com classificação e percentual dos modos de ruptura. Rupturas coesivas qualificam o risco para baixo; rupturas de interface o qualificam para cima. Ensaio de resistência superficial do emboço complementa com dado prognóstico sobre a viabilidade do retrofit.

Etapa 3 — Investigação da execução (janelas de inspeção + ensaios de viabilidade): verificação de espessura, ancoragem e interfaces. Ensaios de injeção em áreas ocas determinam se técnicas minimamente invasivas são tecnicamente viáveis ou se a geometria da falha exige remoção. Essa etapa elimina hipóteses e concentra a intervenção.

Etapa 4 — Classificação de risco por zona e intervenção proporcional: integração dos resultados para definição de três perfis, sendo risco elevado, com intervenção imediata e remoção; risco intermediário, com intervenção seletiva; risco baixo, com monitoramento bienal e manutenção preventiva.

No edifício em questão: risco elevado no 12º pavimento lado direito; risco intermediário no pano P3 em geral (21,5% de sua área); risco baixo nos panos P1 e P2, monitoramento. Sem a pluralidade de métodos, todos os panos teriam sido classificados igualmente como não conformes e a decisão tenderia à remoção integral do revestimento argamassado.

7. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo demonstrar que a aplicação de um protocolo multiensaio integrado, composto por seis ensaios investigativos com princípios físicos distintos, é condição necessária para a fundamentação técnica de decisões de retrofit em fachadas argamassadas com redução de aderência. Os resultados obtidos confirmam a hipótese central de que a análise normativa binária isolada é insuficiente para orientar decisões de alto impacto técnico e econômico, e a avaliação de risco sustentada pelo conjunto de ensaios conduziu a conclusões qualitativa e quantitativamente distintas daquelas que resultariam de qualquer ensaio aplicado individualmente. A investigação demonstrou que a tomada de decisão em retrofit de fachadas é tanto mais precisa quanto mais diversificados e integrados forem os ensaios empregados. Cada ensaio adicionado ao protocolo investigativo, como percussão, termografia, análise do modo de ruptura, ensaios de injeção e resistência superficial, modificou ou qualificou a avaliação de risco e, consequentemente, o escopo da intervenção recomendada.

A análise integrada dos seis ensaios demonstrou que a não conformidade normativa de aderência (resistência < 0,30 MPa em 8 de 9 painéis) não implica risco uniforme de desplacamento generalizado. O protocolo multiensaio revelou que os resultados isolados de cada ensaio apontam para conclusões distintas e que apenas a leitura conjunta permite a avaliação de risco calibrada: (i) a percussão quantificou a extensão e a progressão das anomalias, mas não o mecanismo; (ii) a termografia confirmou espacialmente os resultados da percussão e identificou infiltração, mas não determinou a causa da perda de aderência; (iii) os ensaios de aderência quantificaram a não conformidade normativa, mas os valores isolados superestimavam o risco real em virtude do modo de ruptura predominante; (iv) a classificação do modo de ruptura (56% coesivo, apenas 1% de interface) qualificou o diagnóstico para baixo, revelando que a interface substrato-emboço

permanece íntegra na maior parte da fachada; (v) os ensaios de injeção eliminaram uma opção de intervenção e confirmaram experimentalmente o mecanismo de falha; e (vi) a resistência superficial satisfatória do emboço (11/12 ≥ 0,50 MPa) viabilizou tecnicamente a intervenção seletiva. A análise dessas evidências justifica intervenção seletiva e proporcional ao risco de cada zona, em substituição à remoção integral que resultaria de uma análise normativa isolada da resistência à tração.

O modelo de decisão em quatro etapas proposto, que integra mapeamento global, quantificação com análise do modo de ruptura, investigação executiva e classificação de risco por zona, oferece estrutura metodológica aplicável para edificações similares. A sequência progressiva das etapas garante que cada ensaio qualifique os anteriores e oriente o escopo dos subsequentes, evitando tanto o subdimensionamento investigativo, que resulta em diagnósticos imprecisos, quanto o superdimensionamento das intervenções, que resulta em custos injustificados. A contribuição principal deste trabalho reside em demonstrar que o ensaio de aderência à tração, isoladamente, não é suficiente como critério decisório em retrofit de fachadas de edificações com espessuras variáveis e histórico complexo de degradação. A pluralidade de ensaios investigativos integrados (não substituídos entre si, mas complementares) constitui o fundamento técnico para decisões de retrofit com rigor científico, proporcionalidade econômica e responsabilidade sobre a segurança dos usuários.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16747: Inspeção predial — Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BAUER, E. et al. Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation. Journal of Building Pathology and Rehabilitation, v. 5, n. 7, 2020.

CEOTTO, L. H. et al. Revestimentos de argamassas — Boas práticas em projeto, execução e avaliação. Porto Alegre: ANTAC, 2005.

DIAS, I. S.; FLORES-COLEN, I.; SILVA, A. Critical analysis about emerging technologies for building's facade inspection. Buildings, v. 11, 2021.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. A systematic approach for maintenance budgeting of buildings facades based on predictive and preventive strategies. Construction and Building Materials, v. 24, n. 9, p. 1718–1729, 2010.

GASPAR, P. M. S. L. Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. 2009. Tese (Doutorado) — IST, Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

GASPAR, P.; BRITO, J. Mapping defect sensitivity in external mortar renders. Construction and Building Materials, v. 19, n. 8, p. 571–578, 2005.

MACIEL, L. L. et al. Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos. São Paulo, 1998.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NASCIMENTO, M. L. M. Utilização de termografia e drone como ferramentas de auxílio ao diagnóstico e manutenção de fachadas – estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 15., 2025, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2025. DOI: https://doi.org/10.46421/sbta.v15.6973.

PIRES, L. A. da S.; SOUZA, J. S. de; SILVA, A. F. F. da; NASCIMENTO, M. L. M. Influência da espessura na resistência de aderência de revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 15., 2025, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2025. DOI: https://doi.org/10.46421/sbta.v15.6842.

SANTOS, M. C. R. dos; GURKEWICZ, R. de P.; WANDERLING, A.; PIVA, J. H.; FRASSON, B. J.; ANTUNES, E. G. P. Resistência potencial de aderência à tração em sistema de revestimento monocamada após ciclagens térmicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 15., 2025, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2025. DOI: https://doi.org/10.46421/sbta.v15.6738.

SOUZA, J. S.; PIAZZAROLLO, C. B.; BAUER, E. Degradação nas diferentes zonas de fachadas em sistemas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 14., 2023, João Pessoa. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 136–144. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbta/article/view/4647.

VEIGA, M. R. Comportamento de argamassas de revestimento de fachadas: contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação. Lisboa: LNEC, 2009.

CAPÍTULO 107 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/8mnsj865
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/1ehzc513

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: ESTUDO DE CASO NO CENTRO CULTURAL DE CAMBÉ/PR

Vitor Hugo Astun Dionisio[1]*, Hugo Gabriel Fernandes Viotto[2]; Humberto Vicentin Neto[3]; Marcos Vinícius Domingos Benetatti[4], Berenice Martins Toralles[5] e Francisco Morato Leite[6]
*Autor de contato: vitorhdionisio@gmail.com

[1] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil
[2] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil
[3] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil
[4] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil
[5] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil
[6] Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil

RESUMO

Este estudo apresenta o diagnóstico das manifestações patológicas identificadas nos pilares externos do Centro Cultural de Cambé/PR, edificação em concreto armado com aproximadamente 35 anos de uso. Foram realizados ensaios não destrutivos, incluindo pacometria, esclerometria e ultrassom, bem como ensaio destrutivo por meio da abertura de janelas de inspeção, além da análise da carbonatação com aplicação de solução de fenolftaleína. Os resultados evidenciaram variações significativas no cobrimento das armaduras, entre 1,4 cm e 3,0 cm, valores inferiores aos recomendados pela ABNT NBR 6118:2023. Essa condição favoreceu a progressão da carbonatação, a corrosão das armaduras e o desplacamento do concreto, com maior criticidade no Pilar 4, intensificada pela ação localizada de agentes agressivos de baixo pH. Os pilares P3, P4 e P5 apresentaram maior vulnerabilidade, enquanto P1, P2 e P6 demonstraram desempenho satisfatório. A classificação da vida útil, conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, enquadra a edificação no grupo de edifícios comuns, com vida útil de projeto mínima de 50 anos, sendo recomendadas inspeções periódicas e intervenções corretivas para assegurar a durabilidade estrutural.
Palavras-chave*:* manifestações patológicas; concreto armado; durabilidade; ensaios não destrutivos; vida útil.

ABSTRACT

This study presents the diagnosis of pathological manifestations identified in the external reinforced concrete columns of the Cambé Cultural Center, a structure with approximately 35 years of service life. Non-destructive tests were performed, including covermeter measurements, rebound hammer testing, and ultrasonic pulse velocity, in addition to a destructive test involving the opening of inspection windows and carbonation analysis using phenolphthalein solution. The results revealed significant variations in reinforcement cover, ranging from 1.4 cm to 3.0 cm, values below those recommended by ABNT NBR 6118:2023. This condition favored carbonation progression, reinforcement corrosion, and concrete spalling, with greater severity observed in Column 4, intensified by localized exposure to aggressive low-pH agents. Columns P3, P4, and P5 exhibited higher vulnerability, whereas P1, P2, and P6 showed satisfactory performance. According to ABNT NBR 15575-1:2021, the service life classification places the building in the minimum design service life of 50 years for common buildings; however, the observed deterioration indicates the need for periodic inspections, reassessment of the residual service life, and corrective interventions to ensure structural durability.
Keywords: pathological manifestations; reinforced concrete; durability; non-destructive testing; service life.

1. INTRODUÇÃO

As edificações construídas no Brasil nas décadas de 1980 e 1990 apresentam características construtivas influenciadas pelo contexto socioeconômico e pelas limitações tecnológicas da época, sendo comum o emprego de concretos de baixa resistência, entre 10 e 15 MPa, sobretudo em obras públicas de pequeno e médio porte, em razão do reduzido controle tecnológico e de dosagens empíricas (Souza; Ripper, 1998). Essas condições conferiram maior suscetibilidade a mecanismos de deterioração associados à elevada permeabilidade, cobrimentos insuficientes e baixa qualidade do concreto superficial (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

No âmbito normativo, a discussão sobre vida útil de projeto no Brasil ocorreu de forma tardia, sendo somente a partir da ABNT NBR 15575:2021 estabelecidos requisitos mínimos de vida útil para edificações, o que dificultava, anteriormente, a previsibilidade do desempenho estrutural ao longo do tempo. Entre os principais processos patológicos, destaca-se a corrosão das armaduras, que reduz a seção resistente do aço e gera fissuração, desplacamento do cobrimento e perda de aderência, comprometendo a segurança estrutural (LELE; BEUSHAUSEN; ALEXANDER, 2023; BENTO; MONTEIRO, 2024; MEIRA, 2017).

Ademais, observa-se a atuação sinérgica entre diferentes agentes de degradação, uma vez que processos como a carbonatação e a ação de cloretos afetam principalmente a armadura, enquanto agentes agressivos de baixo pH deterioram o concreto superficial, facilitando a penetração desses agentes e acelerando a corrosão (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; NEVILLE, 2016).

Nesse contexto, justifica-se a realização do presente estudo pela necessidade de compreender o comportamento de estruturas de concreto armado com idade avançada, especialmente edificações públicas construídas antes da consolidação dos critérios atuais de durabilidade e vida útil. O Centro Cultural de Cambé/PR foi selecionado como objeto de estudo por sua relevância social e pelas condições específicas de exposição ambiental de seus elementos estruturais externos, sendo a aplicação integrada de ensaios não destrutivos e destrutivos fundamental para a avaliação do estado de conservação, da vida útil residual e para o embasamento técnico de intervenções corretivas e estratégias de manutenção.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no Centro Cultural de Cambé/PR, edificação pública localizada na região central do município de Cambé–PR, inaugurada em 1990 e com aproximadamente 35 anos de uso. A construção está inserida em zona urbana consolidada, sob clima subtropical, caracterizado por variações térmicas, elevada umidade e chuvas frequentes, condições que influenciam diretamente os processos de degradação do concreto.

A edificação ocupa um lote de esquina, delimitado pelas ruas Dinamarca e Portugal, conforme ilustrado na Figura 1, estando inserida em um setor urbano com tráfego moderado, presença de edificações residenciais no entorno e áreas arborizadas que promovem sombreamento parcial das fachadas.

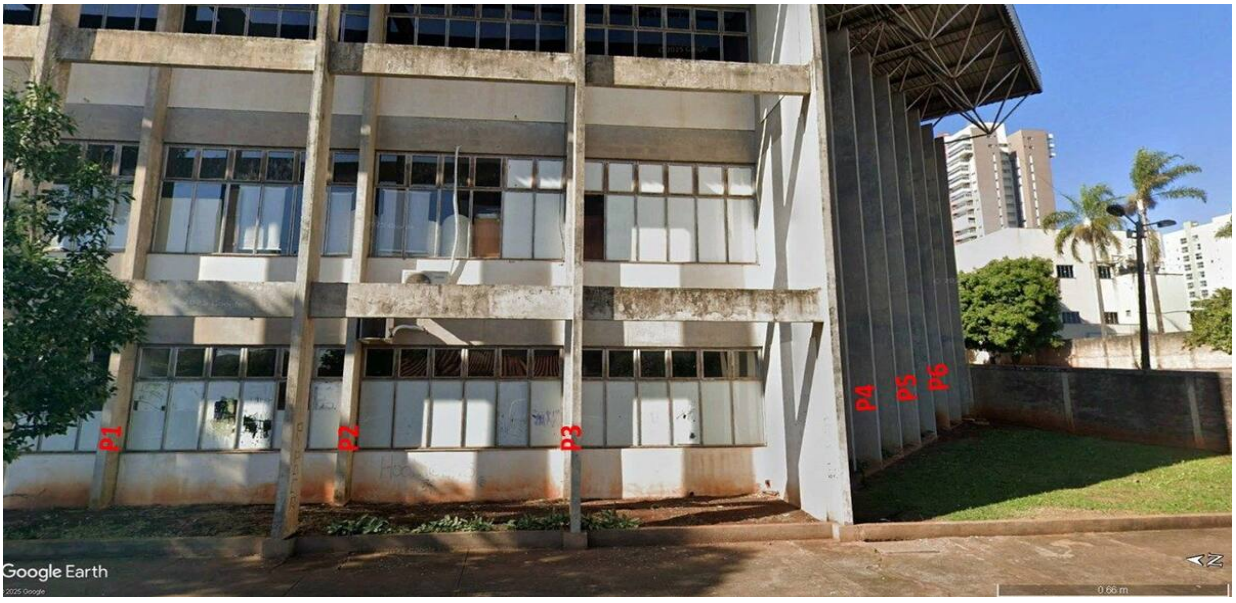
Figura 1 - Localização dos pilares avaliados na fachada oeste do Centro Cultural de Cambé, destacados em vermelho



Fonte: Google Earth Pro, 2025

Foram selecionados seis pilares de concreto armado, com seção transversal de 15 × 38 cm, localizados na face oeste da edificação (Figura 2) e diretamente expostos às intempéries. A escolha dessa região também considerou relatos de deposição de urina por transeuntes, potencial fonte de agentes agressivos de baixo pH. Os elementos foram identificados como P1 a P6, sendo avaliada uma face de cada pilar.

Figura 2 **- Vista da fachada oeste do Centro Cultural de Cambé, com identificação dos seis pilares analisados**



Fonte: Google Earth Pro, 2025

No momento da vistoria, os pilares P1, P2, P3, P5 e P6 apresentavam superfícies aparentes contínuas, sem exposição visível das armaduras, com presença de manchas superficiais de umidade e alterações de coloração típicas de elementos estruturais externos. O pilar P4, por sua vez, apresentava perda localizada do cobrimento, com exposição das armaduras longitudinais e transversais, sendo essa condição considerada para a definição dos procedimentos de ensaio aplicados ao elemento.

2.2 Ensaios realizados

2.2.1 Ensaio com Pacômetro

O ensaio com pacômetro teve como objetivo identificar o posicionamento das armaduras longitudinais e transversais nos pilares avaliados. Utilizou-se o equipamento Bosch GMS 120 Professional, baseado em indução eletromagnética, realizando-se varredura da superfície dos elementos. Os eixos das armaduras detectadas foram marcados, permitindo a correta localização das zonas armadas e orientando a aplicação dos ensaios subsequentes.

2.2.1 Ensaio Esclerométrico

O ensaio esclerométrico foi executado conforme a ABNT NBR 7584:2012, utilizando martelo de Schmidt tipo N. Em cada pilar foi definida uma malha de 16 pontos de impacto, distribuídos em quadrante 4×4. Os valores obtidos foram analisados estatisticamente, com exclusão de resultados discrepantes (±10% da média inicial), e a média corrigida foi convertida em estimativa da resistência à compressão aparente do concreto por meio do gráfico do equipamento.

2.2.2 Ensaio Ultrassônico

O ensaio de velocidade de pulso ultrassônico foi realizado com preparo prévio da superfície mediante aplicação de vaselina sólida, assegurando adequado acoplamento dos transdutores. A velocidade de propagação das ondas foi determinada pela relação entre a distância percorrida e o tempo de trânsito, conforme a ABNT NBR 8802:2019 e a ASTM C597. Para interpretação qualitativa, adotou-se a classificação proposta por Cánovas, 1992. O ensaio foi aplicado nos pilares P1, P2 e P3, selecionados por apresentarem condições superficiais adequadas à execução do método.

2.2.3 Ensaio Destrutivo – Janela de Inspeção

Foram abertas janelas mínimas de inspeção para verificação direta do cobrimento e da condição superficial das armaduras. As aberturas foram executadas a aproximadamente 1,0 m do solo, no encontro de faces perpendiculares dos pilares, com auxílio de máquina de corte. O cobrimento foi medido diretamente com escalímetro, possibilitando a comparação com os valores estimados pelo pacômetro.

2.2.4 Ensaio de Carbonatação

A profundidade de carbonatação foi determinada por meio da aplicação de solução de fenolftaleína a 1% em etanol nas superfícies expostas após a abertura das janelas de inspeção. A delimitação visual entre regiões carbonatadas e não carbonatadas permitiu medir a profundidade do avanço do

processo, utilizando escalímetro, com leituras em diferentes pontos para avaliação da variabilidade local.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Agressividade Ambiental da Edificação

A interpretação dos resultados requer a correta classificação da agressividade ambiental, uma vez que os processos de deterioração do concreto estão associados às ações físicas e químicas atuantes ao longo do tempo, conforme discutido por Medeiros, Andrade e Helene, 2011.

O Centro Cultural de Cambé está inserido em meio urbano residencial/comercial, sem influência industrial significativa, caracterizado pela presença de tráfego veicular e concentrações atmosféricas usuais de dióxido de carbono. De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, essa condição enquadra a edificação na Classe de Agressividade Ambiental II (CAA II), correspondente a ambiente urbano, distinto do ambiente rural, classificado como CAA I.

Esse enquadramento é compatível com o comportamento observado na maioria dos pilares avaliados, nos quais não se verificaram manifestações patológicas generalizadas após aproximadamente 35 anos de exposição, indicando evolução moderada dos mecanismos de deterioração em ambiente urbano.

Entretanto, o desempenho diferenciado do pilar P4 não está associado à classe ambiental normativa, mas à ação antrópica localizada decorrente da deposição recorrente de urina por transeuntes. Trata-se de um agente agressivo de natureza química, com baixo pH e presença de sais, não contemplado explicitamente na classificação da CAA, mas capaz de promover a degradação do cobrimento e acelerar processos corrosivos de forma localizada.

Dessa forma, os resultados demonstram que, embora a edificação esteja corretamente enquadrada em ambiente urbano (CAA II), a presença de ações antrópicas pontuais pode alterar significativamente o desempenho de elementos estruturais específicos, reforçando a necessidade de avaliações individualizadas no diagnóstico de durabilidade.

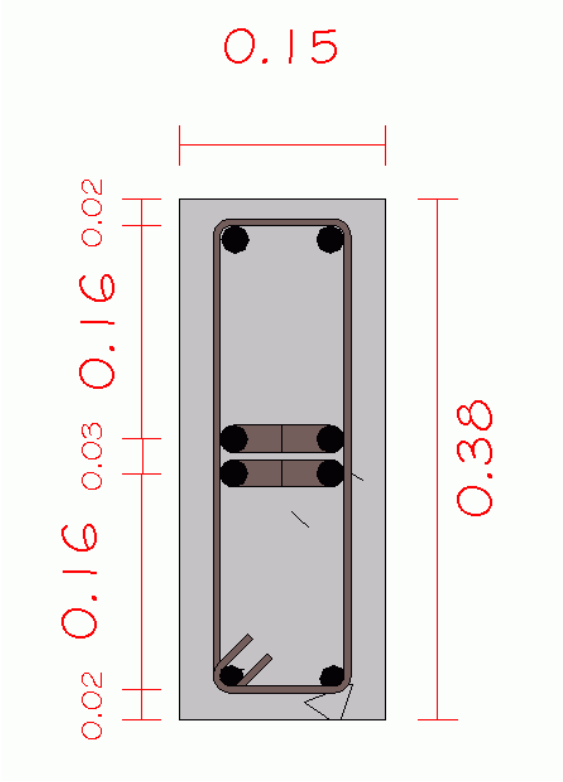
3.2 Geometria da Seção e Distribuição das Armaduras Identificadas

A pacometria permitiu identificar a presença e a disposição relativa das armaduras longitudinais, indicando barras intermediárias organizadas em duas fiadas centrais, posicionadas aproximadamente na região média da seção transversal (Figura 3). Embora o método não possibilite a determinação exata do eixo das barras, os resultados foram suficientes para caracterizar o arranjo estrutural adotado, limitação amplamente reconhecida na literatura para concretos heterogêneos e com cobrimentos reduzidos (SOEIRO, 2018; SOUSA, 2025).

Os resultados evidenciaram cobrimentos inferiores aos valores mínimos prescritos à época da construção para estruturas em concreto aparente ao ar livre (2,5 cm), conforme a NB-1/1978. Essa condição é relevante do ponto de vista da durabilidade, uma vez que cobrimentos reduzidos favorecem a corrosão das armaduras e o desplacamento do concreto, especialmente em ambientes urbanos com elevada umidade, conforme também relatado por Fonseca *et al*., 2021.

A configuração das armaduras identificada mostra-se compatível com o porte da edificação, composta por subsolo, térreo e primeiro pavimento, e com as práticas usuais de detalhamento estrutural vigentes no período de sua execução, não sendo esperados elevados índices de armadura ou seções de maior dimensão.

Figura 3 - Representação esquemática da seção transversal do pilar, indicando o posicionamento das armaduras longitudinais



Fonte: Os autores, 2026.

Ressalta-se que os valores obtidos por pacometria devem ser interpretados como estimativas, uma vez que fatores como profundidade real das barras, orientação do sensor e condições do concreto podem influenciar as leituras. Assim, a representação esquemática da seção transversal (Figura 3) constitui um modelo interpretativo fundamentado nas evidências obtidas em campo, não correspondendo necessariamente ao detalhamento original de projeto.

3.3 Avaliação esclerométrica

O ensaio esclerométrico foi aplicado em seis pilares de uma edificação com aproximadamente 35 anos de idade, com o objetivo de avaliar a variabilidade da dureza superficial do concreto. Os elementos apresentavam superfície lisa, ausência de juntas de concretagem e condições típicas de exposição prolongada em ambiente urbano, com presença de carbonatação identificada por ensaios específicos.

Os índices esclerométricos médios obtidos variaram entre 34 e 47, evidenciando heterogeneidade no comportamento mecânico superficial do concreto. A partir da curva de correlação do equipamento, esses valores resultaram em estimativas de resistência à compressão entre

aproximadamente 25 MPa e 42 MPa (Tabela 1), as quais devem ser interpretadas como indicativas de tendência, e não como valores absolutos de resistência.

Tabela 1 - Resultados do Ensaio Esclerométrico e Estimativa da Resistência à Compressão do Concreto

Pilar	Índice esclerométrico médio	Resistência estimada à compressão (fck)
P1	46	40
P2	43	36,5
P3	34	25
P4	47	42
P5	45	39
P6	42	35,5

Fonte: Os autores, 2026.

A dispersão observada, com desvio padrão aproximado de 4,5 pontos no Índice Esclerométrico, é compatível com estruturas antigas, nas quais fatores como variações de execução, cura original e diferentes condições de exposição ao dióxido de carbono e à umidade influenciam os resultados (Campos, 2019). A carbonatação, em particular, promove o endurecimento da camada superficial do concreto, elevando artificialmente o índice esclerométrico e podendo superestimar a resistência correlacionada em até 50%, conforme indicado pela ABNT NBR 7584 e pela ASTM C805.

Os maiores índices foram observados nos pilares P1, P4 e P5, enquanto valores intermediários foram registrados em P2 e P6. O pilar P3 apresentou o menor índice esclerométrico, indicando menor influência da carbonatação superficial, resultado compatível com as condições observadas no elemento e com possíveis não conformidades de execução, conforme discutido por Araújo, 2018.

Com base nas recomendações normativas, foi aplicada uma redução de 50% nas resistências estimadas (Tabela 2). Observa-se, entretanto, que no caso do pilar P3 a reduzida profundidade de carbonatação identificada não justifica a aplicação desse fator corretivo, evidenciando que não existe relação direta e linear entre a profundidade de carbonatação e os valores esclerométricos obtidos. Ainda assim, a aplicação do fator de correção resultou em valores de resistência compatíveis com os concretos historicamente utilizados no período de construção da edificação.

Tabela 2 - Resultados do Ensaio Esclerométrico com Resistência Corrigida (Redução de 50%)

Pilar	Índice esclerométrico médio	Resistência estimada à compressão (fck) original	Resistência estimada à compressão (fck) corrigida
P1	46	40	20
P2	43	36,5	18,25
P3	34	25	12,5
P4	47	42	21
P5	45	39	19,5
P6	42	35,5	17,75

Fonte: Os autores, 2026.

A variabilidade observada reforça a necessidade de interpretação cautelosa dos resultados esclerométricos e da realização de ensaios complementares, como ultrassom ou extração de

testemunhos, para validação das estimativas e melhor caracterização da durabilidade da estrutura, especialmente em regiões com comportamento diferenciado ao longo do tempo (THOMAZ, 2007; ESCOBAR ET AL., 2011).

3.4 Análise do concreto por ultrassom

Os resultados do ensaio de velocidade de pulso ultrassônico (UPV) permitiram avaliar, de forma indireta, a integridade interna do concreto dos pilares analisados. As velocidades de propagação variaram entre 3129,35 m/s e 4083,48 m/s (Tabela 3), indicando diferentes níveis de qualidade do concreto, conforme a classificação proposta por Cánovas, 1992.

Tabela 3 - Valores de Tempo de Propagação e Velocidade do Pulso Ultrassônico

Pilar	Velocidade média do pulso (µs)	Velocidade de propagação (m/s)	Qualidade do concreto (Cánovas, 1992)
P1	38,27	3919,86	Ótimo
P2	36,73	4083,48	Ótimo
P3	47,3	3129,35	Bom

Fonte: Os autores, 2026.

Os pilares P1 e P2 apresentaram velocidades de 3919,86 m/s e 4083,48 m/s, respectivamente, sendo classificados como de ótima qualidade. Esses valores são compatíveis com concretos relativamente homogêneos, com boa coesão interna e ausência de descontinuidades significativas ao longo do percurso ultrassônico. Em estruturas com cerca de 35 anos, a presença de carbonatação superficial pode contribuir para a elevação moderada da velocidade de propagação, comportamento coerente com os resultados observados.

O pilar P3 apresentou a menor velocidade registrada (3129,35 m/s), enquadrando-se na classe de boa qualidade. Esse resultado indica maior heterogeneidade interna, possivelmente associada a aumento de porosidade ou microfissuração, interpretação coerente com o menor índice esclerométrico previamente obtido para esse elemento. Tal convergência sugere desempenho inferior em relação aos demais pilares ensaiados, recomendando maior atenção em avaliações futuras.

Os ensaios ultrassônicos não foram realizados nos pilares P4, P5 e P6, em razão das condições superficiais inadequadas, caracterizadas pela presença de agentes agressivos de origem biológica e química, além de umidade contaminada. Essas condições poderiam comprometer o acoplamento dos transdutores, gerar leituras imprecisas e representar risco ao equipamento, justificando tecnicamente a exclusão desses elementos do ensaio.

De modo geral, os resultados do UPV indicam que o concreto dos pilares avaliados apresenta integridade interna satisfatória, com variações compatíveis com a idade da edificação e com os mecanismos de deterioração identificados. A coerência entre os resultados do ultrassom e da esclerometria reforça a confiabilidade do diagnóstico estrutural e contribui para a delimitação dos elementos com comportamento diferenciado ao longo do tempo (BENTO; MONTEIRO, 2024).

3.5 Avaliação da Carbonatação por Fenolftaleína

A profundidade de carbonatação foi avaliada por meio da aplicação de solução alcoólica de fenolftaleína a 1%, permitindo identificar a perda de alcalinidade do concreto nos pilares

analisados. O ensaio baseia-se na mudança de coloração do indicador, que adquire tonalidade roxa em meios com pH superior a aproximadamente 9,0 e permanece incolor em regiões carbonatadas.

Os resultados evidenciaram comportamentos distintos entre os pilares avaliados (Figura 4). Nos pilares P3 e P5, não foi observada coloração roxa, indicando carbonatação avançada e perda integral da alcalinidade do cobrimento. Esse comportamento é coerente com os resultados obtidos nos ensaios esclerométricos e ultrassônicos, que apontaram desempenho inferior nesses elementos.

Figura 4 - Resultados da Aplicação de Fenolftaleína nos Pilares P3, P4, P5 e P6



Fonte: Os autores, 2026.

O pilar P4 apresentou coloração roxa apenas em regiões pontuais, caracterizando carbonatação parcial do cobrimento, com avanço significativo da frente carbonatada. Em contraste, o pilar P6 exibiu coloração roxa intensa e contínua, indicando manutenção da alcalinidade do concreto e menor suscetibilidade à corrosão das armaduras.

De modo geral, os resultados confirmam que a associação entre cobrimento reduzido, avanço da carbonatação e presença de agentes agressivos tem contribuído para a deterioração localizada de alguns elementos estruturais, especialmente nos pilares P3, P4 e P5, reforçando a importância da avaliação integrada dos mecanismos de durabilidade (WANG et al., 2024).

3.6 Janela de inspeção

A análise geométrica realizada a partir da abertura das janelas de inspeção e da configuração armada identificada revelou variações significativas nos valores de cobrimento dos pilares, oscilando entre 1,4 cm e 3,0 cm, conforme observado na Figura 5.

Figura 5 - Determinação do Cobrimento por Abertura de Janela de Inspeção



Fonte: Os autores, 2026.

A quantificação dos cobrimentos medidos é apresentada na Tabela 4, na qual se observa que a maioria dos elementos avaliados apresenta valores inferiores ao mínimo recomendado, tanto pelas normas vigentes à época da construção quanto pelas diretrizes atuais da ABNT NBR 6118:2023, que estabelece cobrimento mínimo de 2,5 cm para estruturas de concreto aparente inseridas em ambientes classificados como CAA I e II.

Tabela 4 - Determinação do cobrimento dos pilares após abertura da janela de inspeção6 - Determinação do cobrimento dos pilares após abertura da janela de inspeção

Pilar	Cobrimento
P1	2,0 cm
P2	2,0 cm
P3	2,0 cm
P4	1,4 cm
P5	2,4 cm
P6	3,0 cm

Fonte: Os autores, 2026.

Cobrimentos reduzidos comprometem diretamente a durabilidade das armaduras, uma vez que diminuem a espessura da principal barreira física contra a carbonatação, a penetração de umidade e a ação de agentes agressivos. Em pilares externos, mesmo em ambiente urbano de agressividade moderada, a exposição contínua a chuvas, variações térmicas e umidade favorece o avanço acelerado da frente de carbonatação, que tende a atingir rapidamente profundidades de cobrimento insuficientes.

A realização das janelas de inspeção mostrou-se fundamental para a confirmação dos valores de cobrimento, uma vez que o pacômetro fornece apenas estimativas indiretas, sujeitas a interferências decorrentes da heterogeneidade do concreto e da profundidade efetiva das armaduras. Assim, a associação entre pacometria e inspeção direta aumentou a confiabilidade do diagnóstico, permitindo a identificação precisa de inconformidades construtivas e uma avaliação mais fiel das condições reais de proteção das armaduras.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico dos pilares da fachada oeste do Centro Cultural de Cambé, realizado por meio de ensaios não destrutivos e destrutivos, evidenciou manifestações patológicas associadas a cobrimentos insuficientes e à ação antrópica localizada de agentes de pH reduzido. Embora a edificação esteja inserida em ambiente urbano classificado como CAA II, observou-se degradação localizada, especialmente no pilar P4, agravada pela reduzida espessura de cobrimento.

Os resultados dos ensaios apresentaram coerência entre si, destacando desempenho inferior no pilar P3 e condições satisfatórias no pilar P6. Considerando que a ABNT NBR 15575-1:2021 estabelece vida útil de projeto mínima de 50 anos para sistemas estruturais em edificações habitacionais, e a idade atual da edificação, torna-se necessária a adoção de inspeções periódicas, plano de manutenção e reavaliação da vida útil residual, a fim de garantir a segurança, o desempenho e a durabilidade da estrutura.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Prefeitura Municipal de Cambé pelo apoio institucional e pela autorização para a realização das inspeções na edificação estudada. Agradecem, ainda, ao Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, pelo suporte técnico e acadêmico fornecido durante o desenvolvimento do trabalho. Registram também agradecimento ao Engenheiro Civil Fernando Nakao, do Departamento de Obras da Prefeitura Municipal de Cambé, pelo apoio técnico, pelas informações disponibilizadas e pela colaboração durante as atividades de campo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584: Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802: Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica.** Rio de Janeiro, 2019.

ASTM INTERNATIONAL**. ASTM C597***: Standard test method for pulse velocity through concrete.* West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016.

ASTM INTERNATIONAL**. ASTM C805/C805M***: Standard test method for rebound number of hardened concrete.* West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.

BENTO, A. J.; MONTEIRO, E. C. B. **Avaliação do estado de conservação de viadutos em concreto armado: estudo de caso da ferrovia Recife/Gravatá-PE.** *Scientific Journal ANAP*, v. 2, n. 11, 2024. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/4910.

CÁNOVAS, M. F**. Patologia e terapia do concreto armado***.* São Paulo: Pini, 1992.

ESCOBAR, C. J. *et al*. **Avaliação de desempenho do ensaio de esclerometria na determinação da resistência do concreto endurecido**. Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto, 2011.

FONSECA, F. B. *et al*. En**saios não destrutivos para avaliação da rigidez em elementos de concreto armado**. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p. 20009- 20018, fev. 2021.

LELE, H. R. F.; BEUSHAUSEN, H.; ALEXANDER, M. G. **A practical carbonation model for service life design of reinforced concrete structures.** *Scientific African*, v. 20, e01677, 2023. DOI: 10.1016/j.sciaf.2023.e01677.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 22.

MEIRA, G. R. **Corrosão das Armaduras em Estruturas de Concreto**. São Paulo: Elsevier, 2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016

PACHECO, F. et al. **Proposed variations in nominal reinforcement cover based on the environmental aggressivity class (EAC) of concrete exposure**. Rev. IBRACON Estrut. Mater., v. 17, n. 6, e17609, 2024. DOI: 10.1590/S1983-41952024000600009.

SOEIRO, Joaquim Martins; TRANCOSO, Herika. **Inspeção e diagnóstico de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado:** estudo de caso. Revista Construindo, Belo Horizonte, v. 10, n. 1, p. 61–74, jan./jun. 2018. ISSN 2318-6127.

SOUSA, Henrique Rêgo Bandeira. **Análise das manifestações patológicas em edificações históricas**: um estudo de caso em casarão do Centro Histórico de São Luís – MA. 2025. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

TEODORO, C. P.; CARRAZEDO, R. **Impact of carbonation on reinforced concrete structures, considering the increase of CO2 due to climate change in Brazil**. Rev. IBRACON Estrut. Mater., v. 18, n. 1, e18114, 2025. DOI: 10.1590/S1983-41952025000800014.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios:** causas, prevenção e recuperação. São Paulo: PINI, 2007.

WANG, X. *et al***. A review of concrete carbonation depth evaluation models.** *Coatings*, v. 14, n. 4, art. 386, 2024. DOI: 10.3390/coatings14040386.

CAPÍTULO 108 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/vekvyv04
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/8wp0ee26

PROPOSTA DE FICHA PADRONIZADA PARA INSPEÇÃO PRELIMINAR DE ESTRUTURAS DE CONCRETO EM ETEs

João Eliton Santos de Mesquita[1], Mayssa Alves da Silva[2]; Marco Aurélio Ayres Diniz[3]; Tadeu Fernando Porto de Carvalho[4*]; Airton Egydio Petinelli[5] e Enio Pazini Figueiredo[6]
*Autor de contato: Tadeufpc@gmail.com

[1] Eng. Civil, Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, São Luís, Brasil
[2] Eng. Civil, Dra., Professora, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, São Luís, Brasil
[3] Eng. Civil, Especialista, Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, São Luís, Brasil
[4] Eng. Civil, Me., Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, São Luís, Brasil
[5] Eng. Eletricista, Me., Professor Assistente, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, São Luís, Brasil
[6] Eng. Civil Doutor Honoris Causa, Professor Titular, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, Brasil

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo propor uma ficha padronizada para inspeção técnica preliminar de estruturas de concreto em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), a fim de organizar e padronizar as informações coletadas em campo. No decorrer do estudo, observou-se que as manifestações patológicas do concreto ocorrem de forma recorrente em ETEs. A metodologia utilizada foi baseada na pesquisa aplicada, com uma abordagem qualitativa e usando como estudo de caso a ETE do Bacanga, em São Luís - MA. Foram realizadas inspeções visuais, registros fotográficos das estruturas existentes e a aplicação da matriz GUT como ferramenta complementar para auxiliar o processo de priorização das intervenções. Como resultado, foi elaborada uma ficha que possibilitou o registro padronizado das anomalias e a organização dos dados coletados, permitindo uma avaliação preliminar das condições de conservação das estruturas de concreto. Concluiu-se que a ficha proposta melhora os procedimentos de inspeção, reduzindo a subjetividade e auxiliando na tomada de decisões relacionadas às necessidades de manutenção preventiva e corretiva.

Palavras-chave: ficha de inspeção padronizada; inspeção preliminar; estruturas de concreto; ETE; matriz GUT.

ABSTRACT

This study aims to develop a standardized checklist for the preliminary inspection of concrete structures in Wastewater Treatment Plants (WWTPs), in order to organize and standardize data collected in the field. Throughout the research, it was observed that pathological manifestations in concrete occur frequently in aggressive environments such as WWTPs. The methodology was

based on applied research with a qualitative approach, using the Bacanga WWTP, located in São Luís, Maranhão, as a case study. Visual inspections, photographic records of existing structures, and the application of the GUT matrix were carried out as a complementary tool to support the prioritization of interventions. As a result, a standardized form was developed, enabling the systematic recording of anomalies and the organization of collected data, thus allowing a preliminary assessment of structural conditions. It is concluded that this tool improves inspection procedures by reducing subjectivity and supporting decision-making processes. Furthermore, its application in other units is recommended to enhance and validate the proposed methodology.

Keywords: standardized inspection checklist; preliminary inspection; concrete structures; wastewater treatment plant (WWTP); GUT matrix.

1. INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de esgoto (ETEs) são unidades operacionais que integram os sistemas de esgotamento sanitário. Essas instalações são compostas por diversos elementos estruturais em concreto, como vigas, pilares, lajes, paredes, canaletas, caixas de distribuição e outros dispositivos.

De acordo com a norma técnica da ABNT NBR 6118 (2023), as estruturas estão sujeitas a mecanismos de envelhecimento e deterioração que podem afetar tanto o concreto quanto as armaduras e o próprio elemento estrutural. Esses processos estão associados, principalmente, à ação de agentes agressivos que comprometem a camada protetora do material, facilitando o surgimento de anomalias ao longo do tempo.

Além disso, conforme Xavier e Filgueiras (2023), as ETEs estão inseridas em ambientes altamente agressivos, o que se deveao ataque químico e biológico nos processos operacionais e, em cidades litorâneas, ao ambiente marinho agressivo. A exposição do concreto ao esgoto sanitário e ao ácido sulfúrico biogênico contribui para a degradação e o surgimento de defeitos em seus componentes. Os problemas se agravam quando surgem falhas construtivas nas fases iniciais do projeto, como inobservâncias de prerrogativas normativas, e durante a execução sem controle de qualidade adequado. Por isso, torna-se fundamental o diagnóstico preciso desses danos, a fim de que sejam adotadas soluções eficazes.

Diante disso, este estudo foi desenvolvido a partir do acompanhamento das intervenções de recuperação na Estação de Tratamento do Bacanga, em São Luís – MA, e da análise visual das estruturas existentes, que apresentavam sinais de deterioração em diferentes elementos construtivos. Ademais, o envelhecimento das construções, a falta de manutenção periódica e a exposição a um ambiente agressivo são fatores que, juntos, fazem com que, ao longo do tempo, ocorra o surgimento de manifestações patológicas. Esses problemas comprometem o desempenho estrutural e operacional das unidades, podendo gerar riscos à segurança, impactos ambientais e aumento dos custos com manutenção e reabilitação.

Nessa perspectiva, constata-se que a realização de inspeções é fundamental para prolongar a vida útil das estruturas, minimizar danos aos elementos estruturais e evitar intervenções de maior custo. Destaca-se que a inspeção visual corresponde à etapa inicial do processo de inspeção, avaliação e diagnóstico, permitindo a análise das condições estruturais das áreas inspecionadas.

Embora a inspeção visual seja utilizada como etapa inicial no processo de avaliação estrutural, sua aplicação é essencial para um diagnóstico preliminar. Para que esse procedimento seja eficaz,

devem ser utilizados critérios bem definidos para a coleta das informações, organizar os dados de maneira padronizada e analisar os dados com métodos qualitativos ou quantitativos confiáveis.

Diante desse contexto, propõe-se o desenvolvimento de uma ficha padronizada para inspeção preliminar de estruturas de concreto em estações de tratamento de esgoto. Tal proposta se justifica pela necessidade de padronizar os procedimentos de inspeção na identificação e avaliação das manifestações patológicas, reduzir os aspectos subjetivos desse método e melhorar a confiabilidade das informações obtidas em campo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estudo do Concreto Armado

Segundo Bastos (2006), o concreto é um material composto formado por cimento, água, agregado miúdo (areia de rio ou pós de pedra) e agregado graúdo (seixo rolado ou brita), podendo, ainda, receber adições e aditivos químicos para aprimorar ou modificar suas propriedades. De acordo com o autor, a obtenção do concreto depende de um adequado proporcionamento dos materiais, garantindo desempenho tanto no estado fresco quanto no endurecido.

Ainda, segundo Bastos (2006), no concreto armado, as armaduras de aço são previamente posicionadas nas fôrmas e, posteriormente, envolvidas pelo concreto fresco, que é lançado e adensado; logo após o endurecimento e o início da cura, estando o concreto com características desejáveis, as fôrmas são retiradas, originando o elemento estrutural, o qual seguirá sendo curado pelo tempo necessário.

Para garantir a durabilidade dos elementos estruturais de concreto, é necessário seguir os critérios de qualidade expressos em normas, como a ABNT NBR 6118 (2023) e a ABNT NBR 12655 (2024), que estabelecem esses parâmetros, como cobrimento mínimo, relação água/cimento máxima, resistência à compressão mínima, quantidade de cimento por m^3 mínimo, abertura máxima de fissura, detalhamento das armaduras e, em casos especiais, a aplicação de revestimentos, pinturas e impermeabilização.

2.2 Patologia do concreto

Segundo Bolina, Tutikian e Helene (2019), o termo patologia é originado das palavras gregas páthos (sofrimento, doenças) e logia (ciência, estudo). Portanto, entende-se como a ciência dedicada ao estudo das doenças, abrangendo sua origem, mecanismos, manifestações e natureza. Constata-se que esse termo tem origem na área médica, mas seu uso foi ampliado para outras áreas de estudo, como na construção civil. Nesse contexto, tem-se a patologia das construções como o estudo sistemático dos defeitos que afetam os materiais, componentes e sistemas construtivos, com o objetivo identificar suas causas e compreender os processos de surgimento das manifestações patológicas.

Conforme De Souza e Ripper (1998), é necessário compreender o porquê do surgimento das anomalias nas estruturas. Nesse sentido, verifica-se a necessidade de diferenciar os efeitos ou sintomas, como fissuras, desagregação, corrosão das armaduras, perda de seção da armadura e de-aderência ao concreto e desgaste do concreto, e as origens e causas dos mecanismos de deterioração, como as deficiências de projeto, materiais, execução, uso e manutenção ou a ação de cloretos, carbonatação, calor de hidratação excessivo ataque ácido, entre outros processos.

2.3 Agressividade em Estruturas de Concreto em ETE

Conforme Pinheiro e Silva (2022) , as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) são um dos ambientes mais agressivos para o concreto, sendo caracterizados como de classe de agressividade ambiental IV (ABNT NBR 6118, 2023), a mais elevada, em função dos vários fatores que compõem essas unidades operacionais. No que se refere ao concreto, fatores como a idade da estrutura, o tipo de cimento, a relação água/cimento, as característica do concreto e tipo de tratamento superficial adotado, entre outros aspectos, são determinantes para a vida útil das estruturas..

De acordo com o estudo de Kudlanvec et al. (2018), é possível visualizar diversas manifestações em estruturas de ETE, especificamente em ambientes nos reatores tipo UASB, como armaduras corroídas, processos de erosão e ataques de sulfatos, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Manifestações patológicas em estruturas de concreto em ETEs.



Fonte: Adaptado de Kudlanvec et al (2018).

Para sintetizar e entender como esses ambientes são agressivos e suscetíveis ao aparecimento dessas manifestações, verifica-se o Quadro 1, que dispõe sobre o funcionamento dos principais mecanismos de degradação presentes em ETEs.

Quadro 1: Mecanismos de degradação em estruturas de concreto em ETEs.

Manifestação patológica	Caracterização
Lixiviação	Ocorre principalmente em lajes de teto dos reservatórios, em trincas e juntas de concretagem. Devido a ação das águas puras, carbônicas, agressivas e ácidas que dissolvem e carreiam os compostos hidratados da pasta de cimento.
Expansão por ataque de sulfetos	Provocada por compostos de enxofre presente no esgoto residencial, que ataca tanto a matriz hidratada do cimento, em um primeiro momento, e após a perda do cobrimento atacam às armaduras. Com a formação de sulfato de cálcio, ocorre a corrosão e expansão do volume do concreto, resultando em fissuras e degradação do material.

Despassivação por Carbonatação	Devido à penetração de dióxido de carbono (CO_2) nos poros do concreto, que provoca diminuição do pH de aproximadamente 12,5 para valores inferiores a 9,0 e a despassivação das armaduras.
Despassivação por elevado teor de Íon Cloro (Cloreto)	Penetração do cloreto através dos poros do concreto ou trincas, por difusão, impregnação ou absorção capilar.
Despassivação por ataque ácido	Em ambientes com alto teor de sulfetos, após a expansão do concreto e a perda do cobrimento protetor das armaduras, acontece a corrosão das mesmas pela ação das bactérias e do ácido sulfúrico.

Fonte: Adaptado de MAIA; CAMARGOS (2007).

Diante disso, constata-se que os elementos estruturais de concreto em ETEs estão sujeitos a elevada agressividade, com vários mecanismos de degradação que atuam simultaneamente. Assim a identificação precisa das manifestações e de suas causas é fundamental para o diagnóstico adequado.

2.4 Inspeção e Manutenção

Segundo Bolina, Tutikian e Helene (2019), a inspeção é a atividade técnica especializada que avalia as condições de uma edificação, sendo o ponto inicial para a elaboração de um diagnóstico. Essa atividade antecede as ações de manutenção, podendo essas intervenções serem preventiva, preditiva, detectiva ou corretiva. Destaca-se que a inspeção não é uma atividade somente para detectar problemas, mas uma ação periódica estabelecida em projetos e manual de uso das edificações.

De acordo com Medeiros et al. (2012), as atividades relacionadas à inspeção exigem uma abordagem que integra conhecimento teórico e experiência prática, envolvendo a investigação das possíveis causas de deterioração até a verificação dessas hipóteses por meio de ensaios e análises técnicas. Nesse processo, a interpretação dos resultados obtidos e compreensão do contexto histórico e das características da edificação são dados que contribuem para a identificação dos mecanismos de degradação atuantes.

De acordo com Souza e Ripper (1998), as inspeções convencionais são organizadas em três etapas principais: levantamento de dados, análise e diagnóstico. A etapa inicial abrange a coleta criteriosa de informações que irão nortear o processo. Em seguida, a análise desses dados para compreender o comportamento da estrutura e dos mecanismos responsáveis pelo surgimento e evolução das manifestações patológicas. E por fim, o diagnóstico é realizado com base nas etapas anteriores e informações complementares.

Cabe destacar algumas nomenclaturas de inspeção, como a preliminar. De acordo com Bolina, Tutikian e Helene (2019), esse procedimento consiste diretamente na experiência do profissional, sendo que geralmente para se obter conclusões precisas é necessário aprofundar as investigações, principalmente em manifestações mais complexas.

E a inspeção periódica, de acordo com Souza e Ripper (1998), é o procedimento usado para registrar e avaliar os problemas presentes nas estruturas, sendo realizada de tempos em tempos em etapas como o cadastro dos danos, caracterização dos mecanismos de deterioração e avaliação do grau de desgaste, com a finalidade de verificar as medidas cabíveis a serem adotadas. Nesse

processo podem ser usadas planilhas ou formulários de preenchimento com anotações, cadastro ou apontamentos das situações encontradas.

3. METODOLOGIA

3.1 Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento da proposta de ficha padronizada para inspeção visual preliminar de estruturas de concreto em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), utilizou-se como suporte instrumentos técnicos e materiais de apoio às inspeções, dentre os quais se pode destacar:

- Celular para registro fotográfico das manifestações observadas em campo;
- Trena para medições;
- Equipamentos de Proteção Individual (EPI), incluindo capacete, botas e óculos de proteção;
- Acompanhamento de ensaios técnicos, como aplicação de selos de gesso para monitoramento de fissuras e aberturas e ensaios com solução de fenolftaleína para verificação da carbonatação do concreto;
- Verificação de nivelamento dos elementos estruturais;
- Relatórios técnicos da ETE do Bacanga realizados pela Concremat: relatórios sobre análise das condições de durabilidade das estruturas de concreto do tratamento preliminar, reatores UASB 02, 03 e 04 – 2023;
- Normas técnicas aplicáveis às estruturas de concreto;
- Livros acadêmicos, artigos científicos: Patologia das Estruturas, Bolina, 2019;
- Revistas técnicas especializadas na área de concreto e patologia das estruturas;
- Ferramentas computacionais, como Microsoft Word e Excel

O método de pesquisa foi a qualitativa e aplicada, que abrange os processos técnicos de inspeção visual. O estudo foi desenvolvido com base no acompanhamento dos serviços da ETE do Bacanga, utilizado como estudo de caso. Para melhor organização dos procedimentos, foram definidas as seguintes etapas utilizadas no desenvolvimento do trabalho:

- Levantamento de dados por meio de pesquisa em relatórios, artigos científicos, normas técnicas, livros e outros documentos, com a temática inspeção visual, patologias de estruturas de concreto em ETEs, ensaios não destrutivos e processos de recuperação estrutural;
- Compilação e análise das informações coletadas, identificando as principais variáveis qualitativas e quantitativas e organizando os dados para a elaboração da ficha padronizada e do manual técnico.
- Levantamento técnico em campo na ETE do Bacanga, incluindo acompanhamento da obra, inspeção visual, registros fotográficos e observação de ocorrências.
- Aplicação da ferramenta Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) para priorização das manifestações patológicas identificadas em cada edificação.
- Desenvolvimento da proposta de ficha padronizada para preenchimento em campo durante as inspeções.

3.2 Método da Matriz GUT

O método utilizado na ferramenta Matriz GUT auxilia o processo de priorização de resolução de problemas, sendo também chamado de Matriz de Prioridades. Essa ferramenta é utilizada diante de situações que precisam de tomadas de decisões, que exigem análise de vários fatores. Para isso, com o sistema GUT, é possível classificar cada problema de acordo com a Gravidade, Urgência e Tendência, originando a sigla GUT (CAMARGO, 2018).

Para entender melhor os conceitos de Gravidade, Urgência e Tendência dessa ferramenta, o Quadro 2 apresenta detalhes de cada fator.

Quadro 2 – Detalhes dos fatores da matriz Gravidade, Urgência e Tendência (GUT).

Fatores da GUT	Detalhe
Gravidade	Consiste no impacto que o problema gerará. Sendo feita uma análise dos efeitos que o problema, caso não seja resolvido, acarretará em médio e longo prazo.
Urgência	Consiste no prazo, ou o tempo disponível para a resolução do problema. Ou seja, indica o tempo disponível antes que o problema se agrave
Tendência	Trata da probabilidade (ou do potencial) que o problema tem de crescer com o passar do tempo. Aqui é feita uma previsão da evolução do problema

Fonte: Adaptado de CAMARGO (2018).

O Método GUT é um instrumento complementar de apoio na tomada de decisão, sendo aplicado nos campos de preenchimento da ficha elaborada, com o objetivo de priorizar as intervenções a serem executadas. Nesse processo, o setor ou edificação inspecionada recebe uma pontuação em relação às manifestações identificadas, considerando, de forma preliminar, a gravidade dos problemas, a urgência de intervenção e o potencial de agravamento ao longo do tempo, possibilitando destacar as prioridades para a manutenção.

3.3 Concepção da Ficha Padronizada

A ficha (Figura 2) é uma ferramenta de registro das condições estruturais durante as inspeções em campo. De acordo com a ABNT NBR 9452 (2023), tem-se que a inspeção rotineira consiste em um acompanhamento periódico dos elementos estruturais, geralmente analisados de forma visual, com o objetivo de identificar e monitorar a evolução de anomalias.

Figura 2 – Recorte do cabeçalho da Ficha Padronizada Elaborada.

1. INFORMAÇÕES GERAIS		
1.1 Nº Inspeção:	**1.2 Nº Ficha:**	**1.3 Data: __/__/__**
1.4 Edificação / Sistema:		
1.5 Local Específico:		
1.6 Registro Fotográfico (RF):	**1.7 Croqui (CQ):**	
1.8 Responsável Técnico:		

2. CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS E DO AMBIENTE OPERACIONAL
2.1 Condições Ambientais e Operacionais

Fonte: Autores (2026).

Em destaque, a simplicidade no preenchimento permite sua utilização por engenheiros generalistas, técnicos operacionais, operadores e encarregados de ETE, garantindo maior padronização das informações coletadas. Essa ficha possibilita ao responsável técnico:

- Registrar de forma sistematizada as manifestações patológicas;
- Avaliar preliminarmente os danos, levando em conta características quantitativas e qualitativas;
- Identificar o ambiente e o histórico da estrutura;
- Aplicar a matriz GUT para priorização das intervenções a serem realizadas;

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Apresentação e aplicação da ficha proposta

A ficha é composta por 7 seções, organizadas para conduzir o processo de inspeção de forma lógica e sistemática. Iniciando-se com as informações gerais e caracterização das estruturas e do ambiente, logo após realiza-se o registro e a avaliação das manifestações visuais no concreto, tanto em aspectos quantitativos quanto qualitativos

Na etapa final, a ficha comtempla os campos de preenchimento relacionados a priorização dos problemas por meio da matriz GUT, o cálculo do índice GUT e a síntese da inspeção com os encaminhamentos recomendados, permitindo direcionar as ações de monitoramento, novas avaliações ou intervenções de manutenção. O profissional em campo realizará observações, medições e registros, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Inspeção em campo realizada na ETE do Bacanga.

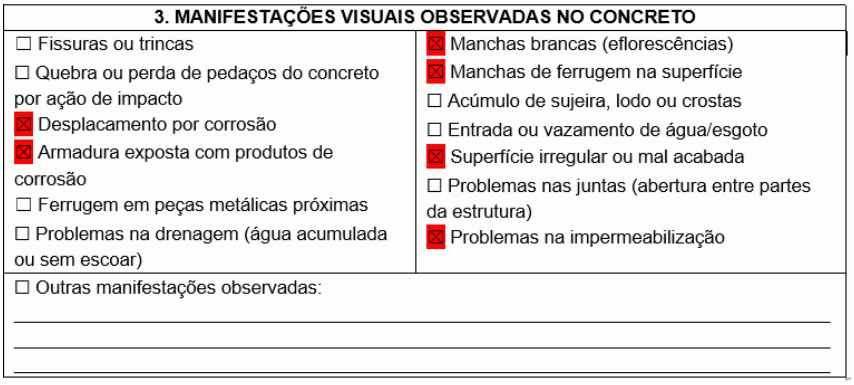


Fonte: Autores, 2026.

Durante a inspeção *in loco*, efetua-se o preenchimento da ficha de apoio, que permite o registro padronizado das informações coletadas em campo e a identificação e avaliação preliminar das anomalias nos elementos estruturais. Além disso, analisam-se as condições observadas na estrutura, permitindo uma avaliação inicial dos danos identificados e registrados, sem que essa análise

substitua o diagnóstico estrutural detalhado, servindo como diretriz inicial para auxiliar na tomada de decisão e ações estratégicas, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Identificação das manifestações utilizando a ficha padronizada



3. MANIFESTAÇÕES VISUAIS OBSERVADAS NO CONCRETO	
☐ Fissuras ou trincas ☐ Quebra ou perda de pedaços do concreto por ação de impacto ☒ Desplacamento por corrosão ☒ Armadura exposta com produtos de corrosão ☐ Ferrugem em peças metálicas próximas ☐ Problemas na drenagem (água acumulada ou sem escoar)	☒ Manchas brancas (eflorescências) ☒ Manchas de ferrugem na superfície ☐ Acúmulo de sujeira, lodo ou crostas ☐ Entrada ou vazamento de água/esgoto ☒ Superfície irregular ou mal acabada ☐ Problemas nas juntas (abertura entre partes da estrutura) ☒ Problemas na impermeabilização
☐ Outras manifestações observadas: _____ _____ _____	

Fonte: Autores, 2026.

Neste contexto, essa inspeção preliminar é baseada em informações obtidas em campo e leva em consideração os seguintes aspectos:

- Tipo de manifestação patológica observada: fissuras, deterioração do concreto, ferrugem das armaduras, infiltrações, entre outras;
- Extensão e intensidade dos danos: observar a área afetada e o grau de deterioração;
- Localização dos danos: avaliar e identificar os elementos estruturais em que ocorre a anomalia;
- Condições ambientais e operacionais: verificar a presença de umidade, agentes agressivos e exposição ao esgoto;
- Avaliação qualitativa: análise dos aspectos e condições dos elementos estruturais e do ambiente; e também grau de deterioração das anomalias observadas.

4.2 Aplicação da Matriz GUT

A Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), proporciona uma análise mais objetiva das anomalias identificadas, priorizando as intervenções com maior grau de urgência no processo de tomada de decisão. As manifestações deverão classificadas por um sistema de avaliação preliminar e pontuações quanto ao nível de alerta (conforme o Quadro 3) para os três critérios, sendo posteriormente calculado o índice GUT por meio da multiplicação (G × U × T).

Quadro 3 - Pontuação da Matriz (GUT).

Pontuação	Gravidade	Urgência	Tendência
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não irá mudar
2	Pouco grave	Pouco urgente	Irá piorar a longo prazo
3	Grave	Urgente, merece atenção no curto prazo	Irá piorar a médio prazo
4	Muito grave	Muito urgente	Irá piorar a curto prazo
5	Extremamente grave	Necessidade de ação imediata	Irá piorar rapidamente

CAMARGO (2018).

Neste contexto, a metodologia GUT aplicada na ficha padronizada, adiciona uma ferramenta auxiliar no processo, possibilitando:

- Classificar as áreas danificadas quanto à gravidade, urgência e tendência;
- Definir as prioridades de intervenção;
- Apoiar a tomada de decisão de forma objetiva;
- Organizar as demandas de manutenção.

4.3 Análise preliminar da aplicabilidade da ficha proposta

Após a elaboração da ficha padronizada, de maneira preliminar, analisou-se a sua aplicabilidade em ETEs, usando como referência as análises e ocorrências verificadas na ETE do Bacanga. Nesse cenário, consideraram-se aspectos relacionados à organização das informações, identificação das manifestações patológicas e facilidade de preenchimento.

Observou-se que a estrutura da ficha possibilita a sistematização dos dados coletados em campo, permitindo um registro padronizado das informações referentes aos elementos estruturais, caracterização das anomalias e uma avaliação preliminar dos níveis de deterioração inspecionados.

Adicionalmente, a aplicação da ferramenta GUT possibilita a redução da subjetividade nas análises realizadas no processo de inspeção, uma vez que os campos de preenchimento previamente definidos orientam o avaliador quanto aos critérios adotados e um sistema de pontuação padronizado relacionados as condições estruturais quanto à gravidade, urgência e tendência.

No geral, a ficha é um instrumento técnico para organizar e simplificar os levantamentos de dados durante as inspeções em campo. Além disso, esse documento pode contribuir para a melhoria e eficiência dos processos da gestão de manutenção, como:

- Aumentar a eficiência do levantamento das informações em campo, devido à padronização do processo de inspeção;
- Reduzir o tempo necessário para análise preliminar das estruturas, em função da organização e clareza dos dados coletados;
- Melhorar ações estratégicas e planejamento das manutenções preventivas e corretivas, o que possibilita uma atuação mais assertiva e menos reativa;
- Reduzir a necessidade das intervenções emergenciais, a partir da identificação precoce das manifestações patológicas;
- Otimizar o uso dos recursos técnicos, operacionais e financeiros, por meio da priorização adequada das ações a serem adotadas.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo propor o desenvolvimento de uma ficha padronizada para inspeção preliminar de estruturas de concreto em Estações de Tratamento de Esgoto. Esse instrumento técnico facilita a organização das informações obtidas em campo, padronizando esse processo.

Com a aplicação preliminar da ficha padronizada na ETE Bacanga, foi possível identificar as principais manifestações patológicas de maneira padronizada. Para fins de demonstração, estimou-se a ocorrência de fissuras em de 65% das áreas, armaduras expostas em 40% dos pontos e perda do cobrimento em 35% dos elementos. Esses resultados evidenciam a elevada agressividade do ambiente de uma ETE.

A estrutura da ficha, com campos de preenchimento das informações iniciais, identificação e avaliação das anomalias, demonstra uma aplicação satisfatória, que permite a padronização dos registros, maior clareza na organização das informações e redução da subjetividade.

Adicionalmente, a associação da Matriz GUT como ferramenta complementar no processo de análise preliminar é essencial para acrescentar um instrumento de priorização das áreas mais afetadas, proporcionando assertividade e objetividade, pois permite otimizar recursos, priorizar intervenções e reduzir intervenções emergenciais.

Dessa forma, verifica-se que a proposta apresentada possui um potencial de aprimorar o processo de inspeção preliminar, podendo auxiliar os profissionais na identificação dos danos e na tomada de decisões relacionadas à manutenção e recuperação.

Por fim, ressalta-se que os resultados obtidos tem caráter preliminar e para continuidade e aperfeiçoamento do presente estudo, recomenda-se a atualização dos pontos de preenchimento da ficha padronizada e aplicação em outras unidades de ETEs verificando os resultados e as peculiaridades de cada local.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa. Agradecem também à Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA) pela disponibilização das informações e acesso às instalações da ETE do Bacanga para realização do estudo. À Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), pelo suporte acadêmico e científico. E à empresa PROGEN S.A., pela colaboração técnica e acompanhamento das atividades desenvolvidas em campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452: **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6118:2023 - **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: Unesp, 2006.

BOLINA, Fabricio Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo. **Patologia de estruturas**. Oficina de Textos, 2019.

DE SOUZA, Vicente Custodio Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Pini, 1998.

CAMARGO, Renata Freitas de. **Como fazer a Matriz GUT para a resolução de problemas? Conheça a Matriz de Prioridades.** Treasy, 2018. Disponível em: https://www.treasy.com.br/blog/matriz-gut/. Acesso em: 20 de Março de 2026.

CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S.A. **Análise das condições de durabilidade das estruturas de concreto do reator UASB 2 da ETE Bacanga.** Documento 223-EBA-EST-001-RL-R00. São Luís: CONCREMAT: 2023. 126 p.

CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S.A. **Análise das condições de durabilidade das estruturas de concreto do reator UASB 3 da ETE Bacanga.** Documento 223-EBA-EST-003-RL-R00. São Luís: CONCREMAT: 2023; 138 p.

CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S.A. **Análise das condições de durabilidade das estruturas de concreto do laboratório e tratamento preliminar da ETE Bacanga.** Documento 223-EBA-EST-007-RL-R00. São Luís: CONCREMAT:2023; 170 p.

CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S.A. **Análise das condições de durabilidade das estruturas de concreto do reator UASB 4 da ETE Bacanga.** Documento 223-EBA-EST-005-RL-R00. São Luís: CONCREMAT, 2023; 91p.

FIGUEIREDO, E. J. PAZINI; NETO, G. N. A; ALMEIDA, P. A. O. **Monitoração de estruturas de concreto**. In: Concreto : ciência e tecnologia. IBRACON. 2022. Cap. 34. p. 1425-1473.

INOVA CIVIL. **Concreto: os 8 principais tipos na construção civil. 2019**. Disponível em: https://inovacivil.com.br/tipos-de-concreto/. Acesso em: 01 mar. 2026.

KUDLANVEC Jr, Vitor Lorival et al. Levantamento de Manifestações Patológicas em Estação De Tratamento de Esgoto: Estudo de caso em Reator UASB.

MAIA, Gustavo Figueiredo; CAMARGOS, C. A. **Recuperação de estruturas de concreto no saneamento. Obras de Saneamento**. São Paulo: IBRACON Concreto & Construções, 2007.

MEDEIROS, M. H. F. et al. **Inspeção no palacio de la luz–Montevideo: uma visão de durabilidade.** Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, v. 2, n. 2, p. 93-108, 2012.

PINHEIRO, Sayonara Maria de Moraes; SILVA, Moema Ribas. **Ações de agentes biológicos no concreto.** In: Concreto: ciência e tecnologia. IBRACON, São Paulo, Cap.29. 2022, p. 1253 – 1279.

XAVIER, Larissa; FILGUEIRAS, Leandro. **Estudo de patologias em estruturas hidráulicas.** CONCRETO & Construções-ISSN 1809-7197, v. 110, n. 110, p. 31-35, 2023.

ÍNDICE DE AUTORES

A

Agostinho de Andrade, Thales 681
Aguiar Pinto, Wesley 1082
Albuquerque, Everson 807, 906, 1127
Alexandre de Araújo, Otávio 1139
Almeida, Apolo 352
Almeida, Jaime Gonçalves de 525
Almeida, José 837
Altoé, Camila Spagnol 1106
Altoé, João Vitor Fioresi 1106
Alves de Lima Senisse Niemczewski, Juliana 501
Alves dos Reis dos Santos, Paulo Ricardo 1028
Amado da Silva, Luanna 83, 282
Andrade Lima Demétrio, Gislaine 962
Andrade, Aristóteles Vinicius Souza de 1212
Andrade, Ricardo Jorge Espanhol 390
Andretta Filho, Gilmar 553
Angulski da Luz, Caroline 49, 376, 489
Antonio Colla, Rafael 376, 489
Araújo Viegas, Diego José 75, 83, 282
Astun Dionisio, Vitor Hugo 849, 1224, 1237
Augusto Müller, Anderson 962

B

Baldin, Vitor 376, 489
Bandeira de Oliveira, Marcio 1164
Barboza, Bárbara 95
Barreto, Eliana 807, 906, 1127
Barreto, Geraldo 748
Barros de Souza Sollero, Marcela 1164, 1177
Batista Alvarenga, Ana Laura 1071, 1082
Beirão de Souza, Glauber 1177
Benetatti, Marcos Vinícius Domingos 1237
Bentes Moreira, Karla Cristina 858, 869
Bolina, Fabricio 2, 14
Borges Masuero, Angela 814, 825
Braun dos Santos, Julie Anne 390, 580
Brekailo, Fernanda 304
Britto, Diogo 1191
Brugnera, Natália 771, 1151

C

Cardoso Dias, Kercia Marcely 1041, 1056, 1071, 1082
Carmona, Antonio 681
Carmona, Thomas 681
Carmona, Tiago 681
Carpena Coitinho Dal Molin, Denise 249, 814, 825
Cecchin Paza, Tauana Andriele 304
Cecconello, Vinicio 439
Chaves Ferro, Marco Aurélio 568
Christ, Roberto 513, 692
Cintra, Carlos Roberto Godoi 714, 724
Cirqueira de Faria, Felipe Dhante 858
Coelho, Domingos 95
Cordeiro Vieira, Júlia 783
Corrêa Abrantes, Jedson Henryque 1071
Corsini da Silva, Bruna 641
Costa Junior, Milton Paulino da 625
Costa Ramos, Leonardo 783
Costa Réus, Giovana 218
Covatti, Leonardo 227
Cristina Barreto Monteiro, Eliana 1118

D

da Silva Monteiro Barbosa, Carlos Eduardo 236
da Silva Montenegro, Aramys Júlio 236
da Silva Oliveira Araujo, Maria Emilia 38
da Silva Pinheiro, Ellen Taís 1041, 1056, 1071, 1082
da Silva Wintz, Eduardo 641
da Silva, Ana Beatriz 592
da Silva, João Ricardo Pereira 894
da Silva, Marcos Roberto 541, 974
da Silva, Reginaldo José 452
Dalfollo Brackmann, Gabriela 249
Dantas da Silva Filho, Edmilson 614
Dantas Guerra, Thamires 75
de Abreu Santos, Thays Aparecida 452
de Albuquerque, Willames 807, 906
de Borba Muller, Nicoli 513
de Britto, Daniel 61
de Carvalho Júnior, Antônio Neves 795
de Cesaro, Giulia Alves 513
de Kayser Ortolan, Vinícius 167
de Medeiros, Luana Dantas 83, 282
de Melo Neto, Antônio Acácio 1191
de Morais Pereira, João Victor 108
de Moura Júnior, José Maria 249, 814, 825
de Moura Rotilli, Miriam 771, 1151
de Oliveira Marinho, Renata 1139
de Oliveira Rodrigues, Glauco José 206
de Sousa Alves, Gelson 61
de Sousa Carneiro Nino, Laryssa 1139
de Souza Bueno de Oliveira, Luiz Octavio 206
de Souza Rolo, Victor Hugo 206
de Souza Santos, Helena 849
de Souza, Murilo Henrique Lima 452
de Tello, Clédola Cássia 26
della Libera Leite, Daiane 249
Dembogurski, Maria Eduarda 814, 825
Dias, Juliana 155
Diniz, Emmanuely Regina Araújo 83, 282
Diniz, Marco Aurélio Ayres 1249
dos Santos de Araújo, Valdete 669
dos Santos Leite, Jonas 1041
dos Santos Mello, Talles Teylor 997
Drumond, Pedro Henrique Cota 1106
Dutra Pessoa de Sousa, Alcineide 760

E

Ehrenbring, Hinoel Zamis 180
Evangelista Vitalino Cardoso, Danielle 108

F

Favarini Beltrame, Thiago 364, 402
Ferraz de Carvalho e Souza, Gustavo Alexandre 414, 936
Ferreira da Silva, Ingrid 641
Ferreira, Cintia 316, 352
Ferreira, Sthefanny 316, 352
Figueiredo, Enio José Pazini 525, 1249
Figueiró D´ornellas, João Pedro 984

Fiori Moura, Adriana 271, 294, 304
Fonseca Tutikian, Bernardo 167, 427, 501, 913
Fornasaro, André 580
Frason Moreira, Fernanda 49
Furtado Maués, Luiz 760

G

Gafski, Fábio Júnior de Melo 692
Gaio Graeff, Ângela 249
Giordani Berton, Júlia 143
Giori da Silva, Juliani 625
Gobbi, Andressa 218
Gomes de Abreu, Aguida 108
Gomes, Isabella 26
Gonçalves Duarte, Ana Maria 83, 282
Gonçalves Félix Quintela, Lorena 592
Gonçalves, Lucas 95
Granato, Marcus 950
Grossi, Marcus 658, 882

H

Haltiery dos Santos, Diego 962
Hansmann, Bernardo Beckenkamp 341
Hasselmann, Eliza 950
Heck Schmitt, Thaís Karol 249
Henrique Ferreira, Murillo 783
Herzer, Mathias 936
Hikari Tago, Erika 997

J

Jorge Rodrigues, Yasmin 108

K

Kaske da Silva, Jordana 464
Kich de Ré, Julia 376, 489
Kihara, Lorena Mizue 849, 1224
Klein, Dario Lauro 926
Klippel Filho, Sérgio 180, 513, 692

L

Langaro, Eloise Aparecida 218, 271, 294, 304
Lange, Leticia 477, 604
Leite, Francisco Morato 1237
Lima Aguiar, José Renato 1041
Lima Brasil, Ana Lívia 669
Lima, José Wyslan 592
Lima, Lézia Maria 592
Lins da Costa, Elnatan 614
Lisbôa Daudt Maus, Kim 477, 604
Lopes Corrêa, Rhuan 869
Lopes de Sousa, Gean 760
Lopes Saturnino, Vitoria 869
Lopes, Francisco 1007
Lopes, Mara Lúcia Martins 452
Lordsleem Júnior, Alberto Casado 1212
Lorenzi, Alexandre 119, 131, 328, 341, 926
Lourenço Neto, Lázaro 858
Lucas da Cruz Silva, Paulo 1139

M

Magro, Isabel Cristina 49, 376
Malerba, Gabriela 384
Mamede, Augusto 736
Mânica, Daniel 541, 974
Maroneze, Camila 390
Marques Salvioni, Karine 649
Martins do Valle, Higor 1093
Martins, João Victor 192
Masuero, João Ricardo 249
Matiazzi da Silva, Pedro 553, 641
Medeiros da Silva, Everton Gabriel 1212
Medeiros, Arthur 227
Medeiros, Marcelo 1191
Medeiros, Rui 227
Melgaço Nunes Branco, Luiz Antônio 795
Melyssa Costa, Loredanna 75
Mendes da Cruz, Felipe 1118
Mendonça Barbosa, Marcos 1118
Mendonça Teles, Ramon 604
Mendonça, Ana Maria Gonçalves Duarte 75, 614
Meotti, Diecson Ronei 414
Mesquita, João Eliton Santos de 1249
Messias de Freitas Filho, Manoel 1164
Metz Arnold, Daiana Cristina 477, 604
Mignoni, Esther 1200
Monte, Renata 1093
Moratti, Markus 736
Moreira de Araújo, Gusttavo 997
Morschel, Milene 501
Mossmann, Cristian Mateus 167

N

Nascimento, Nicole 1191
Nery de Santana Júnior, Valdemir 1118
Nóbrega de Melo, Lívia Nayara 75, 614
Novello, Eduarda Rafaela 477, 604
Nunes, David 95

O

Olavo da Costa, Lucielly 1041, 1056, 1071, 1082
Oliveira Almanso, Leticia 218
Oliveira, Diogo Silva de 1106
Oliveira, Valeria 236, 592

P

Pacheco, Fernanda 180, 513, 692
Pachla, Eduardo 2
Paes Epifânio, Jordana 1019
Parreira, Gerson 390
Paulo Mendes, João 962
Pazini, Anelizabete Alves Teixeira 525
Pedroso Righi, Débora 143, 364, 402
Pedroso, Maria Vitoria 271, 294
Pereira dos Santos, José Victor 1118
Pereira, Eduardo 271, 294, 304
Pereira, Rômulo 1127
Pergentino, Otávia 748
Perin Lichy, Daniel 38
Petersen, Felipe 180
Petinelli, Airton Egydio 1249
Pierozan, Rodrigo César 236
Pinheiro, Sayonara Maria de Moraes 625
Pinto da Silva Filho, Luiz Carlos 364, 402
Pinto de Azevedo, Priscila Grazielle 439

Pohlmann, Sérgio Augusto Andreolli 328
Polesello, Eduardo 414, 936
Pontes, Vagner 736
Porto de Carvalho, Tadeu Fernando 1249

Q

Queiroz, Luciana 316, 352

R

Rabaioli, Angelica Winter 119
Rebonato Carrijo, Bárbara 218
Reginato, Lucas Alexandre 119, 131, 328, 341
Resende, Heron Freitas 795
Rey Puente, Francisco 259
Ribeiro Araújo, Thaís Júlia 236
Ribeiro Félix, Chrysttyan Thales 83, 282
Ribeiro, Ronaldo 701
Ripper, Thomaz 192
Rodrigues da Silva, Hortência 1118
Rodrigues de Oliveira, Franciele 236
Rodrigues, Klaus Hubert Alves 1106
Rosa Almeida, Fernando do Couto 1007
Rosa Marques, Nei Misael 427
Rossi Carvalho de Oliveira, Renata 108

S

Santiago Filho, Hildo 1191
Santos da Silva, José Guilherme 206
Santos da Silva, Marcela 1056
Santos Perin, Vívian Cristina de Jesus 837
Santos, Yonh Lucca 155
Schirmer, Pedro Rafael 131
Schmid Calvão, Patrícia 1093
Schneider, Felipe 167, 427, 501, 913
Schuster, Bruna Gabriela 477, 604
Sebben Eckhardt, Rafaela 249
Seixas, Larissa 95
Serra, Heveraldo 1028
Silva Cardoso, Rozilda 1139
Silva de Vargas, Alexandre 604
Silva dos Santos, Maico Rodrigo 541, 974
Silva, Camila 1191
Silva, Débora Bretas 2, 14
Silva, Evandro 316, 352
Silva, Mayssa Alves da 1249
Silva, Paulo Sérgio da 1224
Silva, Reginaldo Carneiro da 1106
Silveira Salustiano, João Pedro 75
Silveira, Adriana 771, 1151
Soares Pereira Lima Perlingeiro, Mayra 568
Soares, Hamilton 681
Soares, Willames 1127
Somensi Lorenzi, Luciani 119, 131, 328, 341, 926
Sonda, Andresa 913
Souza Calheiros, Carla 669
Souza Neto, Valter Ferreira 75, 83, 282
Souza, Jhenifer 26
Souza, Kaylane 592
Staevie Henn, Arthur 14

T

Tadeu dos Santos, Rodrigo 1164, 1177
Teixeira, Diane Lourdes de Assis 795
Teixeira, Fernanda 513
Teles Sampaio, Allefy 807, 906, 1127
Thalheimer, Jeovana 376, 489
Thomaz Farina, Daniel 814, 825
Tiecher, Francieli 1200
Toaldo dos Santos, Leticia 592
Toralles, Berenice Martins 1224, 1237
Trez Rodrigues, Felipe 962

V

Valenga, Matheus Villian 271
Vallotti de Freitas, Thiago 259
Velez Martins, Maria Eduarda 75, 83, 282
Velozo, Jair 807, 906
Verona Gomes, Maria Nalu 376, 489
Viana de Souza, Matheus 1041, 1056, 1071, 1082
Viana, Leonardo Maroca de Avelar 1106
Vicentin Neto, Humberto 1237
Vieira Carneiro, Luiz Antonio 568
Vieira de Andrade, Carolina 783
Viotto, Hugo Gabriel Fernandes 1237
Völker Mademann, Fabiana 227

X

Xavier Costa, Fabiana 75, 83

Z

Zampieri, Lucas 249

ÍNDICE DE PALAVRAS-CHAVE

2

2020) 658

A

ABNT NBR 16747:2020 795
ABNT NBR 9452 119, 143
Abordagem híbrida 783
Absorção de água 501
Ação da umidade 974
Acrílica 259
Aderência 427, 1224
Aderência concreto-concreto 249
Aditivo redutor de permeabilidade 427
Aerofotogrametria 783
Afundamento 1056
Agregado miúdo 341
Agrotóxico 108
Algoritmo 760
Alternativas sustentáveis 143
Alvenaria 1041
Alvenaria estrutural 328
Amassamento de concreto 614
Ambiente agressivo 1106
Ambiente hospitalar 352
Ambientes marinhos 38
Análise bibliométrica 1007
Análise contrafactual 849
Análise de impacto 658
Análises de múltiplas causalidades 849
Ânodos de sacrifício 61
Anomalias 1041
Apicoamento 249
Aplicativos móveis 1139
Aprendizado de máquina 192
Áreas comuns 807
Argamassa 155, 206, 294, 352, 427, 641
Argamassa autolimpante 604
Argamassa de revestimento 477
Argamassa histórica 316
Argamassa pigmentada 513
ARTMAP 452
Ataque interno por sulfatos 894
Ataque químico 1106
Avaliação da Qualidade do Concreto 402
Avaliação de Risco 1224
Azul de metileno 477

B

Bambu 525
Barras de polímero reforçado com fibras 568
BIM 384
Bloco cerâmico 501
Bolores e desplacamento 974
Borracha de Pneu 282

C

Calor de hidratação 414
Caracterização de materiais 316
Carbonatação 108, 131, 143, 376, 489
Carbonatação acelerada 49
Causa 837
Cba 259
Chuvas 997
Cimento 414
Cimento supersulfatado 49, 376, 489
Componentes cimentícios 402
Comportamento à ruptura 236
Compressão excêntrica 926
Concreto 95, 206, 282, 341
Concreto armado 2, 38, 143, 568, 736, 1237
Concreto reforçado com fibras 364, 402, 439
Concretos 452
Condições de contorno 783
Condomínios residenciais 906
Conexão painel-laje 926
Conservação de edificações 316
Construção 649
Construção offsite 384
Controle de qualidade 328, 807
Controle de qualidade na construção 669
Corrosão 143, 580, 1071
Corrosão das armaduras 1007
Corrosão de armaduras 1106
Cura 376
Cura do concreto 1200
Custos 692

D

Degradação 352
Densidade de corrente 681
Desempenho 26, 155, 869
Desempenho da edificação 658
Desempenho das edificações 714
Desempenho de edificações 724, 814, 825
Desempenho higrotérmico 771
Desempenho mecânico 364, 402
Desplacamento de cerâmica 760
Diagnóstico 882, 984, 1118, 1127, 1191
Diagnóstico de manifestações patológicas 748
Diagnóstico em muro de arrimo 849
Dióxido de titânio 477
DRX 271
Durabilidade 26, 38, 49, 95, 119, 131, 143, 525, 580, 592, 641, 736, 1019, 1177, 1237
Durabilidade do concreto 894, 1007

E

Edificação subterrânea 108
Edificações 869
Edificações de interesse social 692
Edificações escolares 592
Edificações históricas 748
Edificações residenciais 858
Edifícios históricos 950
Empuxo do solo 997
Enchentes 464
Energia 259
Engenharia diagnóstica 75, 83, 795, 1007, 1212
Ensaio de Injeção 1224
Ensaios 1191
Ensaios não destrutivos 1237

Escorregamento 1056
Espessuras 155
Esquadrias 962
Estado da arte 192
Estanqueidade 167
Estanqueidade de fachadas 771
Estruturas ao incêndio 2
Estruturas de aço 14
Estruturas de concreto 14
Estruturas de concreto armado 1249
Estruturas de madeira 1082
Estruturas metálicas 1071
Estruturas portuárias 1177
Etringita secundária 894
Expansão 218
Expansão por umidade 641

F

Fachada 167
Fachadas 155, 1224
Fachadas com revestimento cerâmico 771
Fibra de juta 439
Fibra de sisal 439
Fibra de vidro 236
Fibras 364
Fibras naturais 439
Fissuração 736
Fissuras 83, 962, 974, 1200
Fogo 14
Fotocatálise 477, 604

G

Gestão das informações de manutenção da infraestrutura predial 541
Gestão de risco 825
Gestão de riscos 950
Grafeno 390
Granulometria 341

H

Habitação de interesse social 814
Higroscopicidade 143

I

Impermeabilização 259, 390, 906, 984, 1019, 1151
Impermeabilização de tabuleiros 580
Impermeabilizantes cimentícios 501
Inconformidades 807, 906
Índice de severidade 669
Industrialização da construção 384
Infiltração 714, 882, 1151
Infraestrutura hídrica 1212
Infraestrutura rodoviária 553
Inserto metálico 926
Inspeção 180, 1164, 1177, 1212
Inspeção de pontes 553
Inspeção estrutural 1028
Inspeção patológica 1106
Inspeção pós-inundação 913
Inspeção predial 669, 783, 795, 825, 984, 1139
Inspeção preliminar 1249
Instituições de Ensino Superior 541
Inundação 913

L

Laje de cobertura 906, 1151
Lajes de transição 724
Levantamento de danos 1118
Light Steel Frame 936

M

Manifestações patológicas 119, 143, 328, 604, 669, 825, 858, 936, 984, 1028, 1041, 1056, 1071, 1082, 1093, 1127, 1237
Manifestações patológicas nas construções 974
Manutenção 592, 692, 1164, 1177
Manutenção de edificações 1139
Manutenção predial 795, 825
Manutenção preventiva 1082
Mapa de danos 837
Materiais de ligação 249
Matriz GUT 1118, 1249
Medidas mitigadoras e corretivas 464
Membrana 259
Membranas 580
Metacaulim 452
Método ABC 950
Método de dimensionamento 681
Método de Lichtenstein 83
Método GUT 795, 837
Método hipotético-dedutivo 882
Microdureza Vickers 489
Microestrutura 1191
Módulo de elasticidade 341
Mofos 974
Muro de arrimo 997
Muros de arrimo 501
Museus 950

N

NANOTECNOLOGIA 390
Não conformidades 669
NBR 15575 625, 814
NBR 16280 (ABNT 658
Norma de desempenho 625

O

Obras de arte especiais 1028
Obras de artes especiais 580
Óxido de ferro 513
Óxido de zinco 477

P

Painéis de concreto pré-fabricados 167
Painéis de Vedação 525
Painel pré-fabricado 926
Pasta de cimento 271, 294, 304
Patologia 464, 837, 869
Patologia das construções 95, 658, 714, 724, 783, 858, 882, 1019, 1082, 1139, 1151
Patologia das edificações 75, 180, 701
Patologia das estruturas 1106
Patologias 155, 649, 906, 962
Patologias construtivas 950

Patologias das construções 748
Patologias estruturais 553
Patrimônio construído 1127
Patrimônio histórico 75, 83
Patrimônio público 837
Pavimentos de transição 724
Pavimentos flexíveis 364, 1056
Pedra grês 501
Pendurais 568
Percolação 714
Pigmentos inorgânicos 513
Pisos industriais 1093
Políticas públicas 701
Ponte 568, 736
Pontes de concreto 553
Pontes de concreto armado 1028
Pontes em concreto 1118
Poros capilares 604
Porto 1164
Potencial de corrosão 108
Preparo superficial 249
Preservação 1127
Previsões 452
Projeto de revestimento de fachada 771
Propriedades do concreto 364
Prospecção tecnológica 1007
Proteção catódica 61, 681

Q

Qualidade 625, 649
Qualidade da água 614
Quantificação 760

R

Reação álcali-agregado 218, 894, 1191
Reação álcali-sílica 1191
Reações de hidratação 614
Recalque diferencial 1028
Recebimento de obras 807
Reconstituição de traço 316
Recuperação 192, 206
Recuperação estrutural 61, 75
Redistribuição de tensões 227
Reforço 568
Reforço estrutural 227
Reforma em edificações 658
Rejeito radioativo 26
Relação a/c 489
Reparos 352
Resinas poliméricas 1093
Resistência 143, 641
Resistência à compressão 341, 414
Resistência à corrosão 236
Resistência de aderência 771
Resistência mecânica 143
Retração 1200
Retrofit 192, 206, 1224
Revestimento 427, 604
Revestimento ceramico de fachada 641
Revestimentos 14, 592, 869
Revestimentos argamassados 1041
Revestimentos de alto desempenho 1093

S

Segurança contra incêndio 701
Silicato de etila 218, 271, 294, 304
Sistema de Informações de Manutenção da Infraestrutura 541
Sistema de pisos 625
Sistema de vedação vertical externa 926
Substituições Parciais 452
Sustentabilidade 206, 282, 364, 384, 390, 402

T

Tecnologia 180
Termografia 1224
TG/DTG 271
Tratamento de superfície 304
Trinca 1056
TS28 271
TS40 294

U

Umidade 75, 714, 882, 936, 984
Unidade básica de saúde 869

V

Variação de massa 218
Veículos elétricos 2
Vergas e contravergas 962
Vida útil 131, 1237
Vida útil de projeto 814
Vigas 2, 14
Vistoria técnica 807



CBPAT 2026

CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES