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

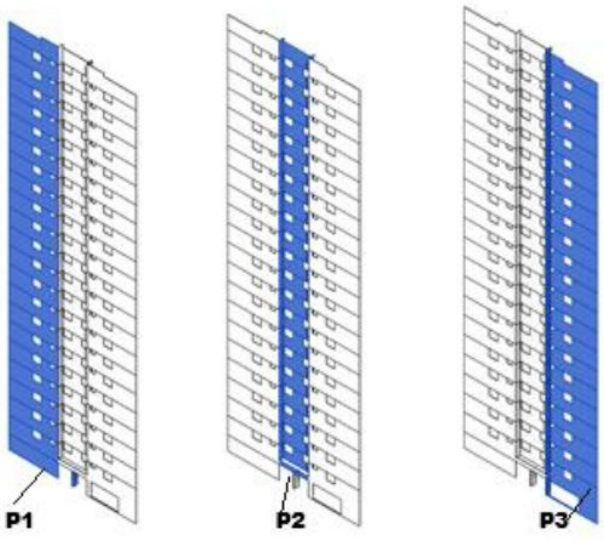
3.1 Caracterização do objeto de estudo

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:

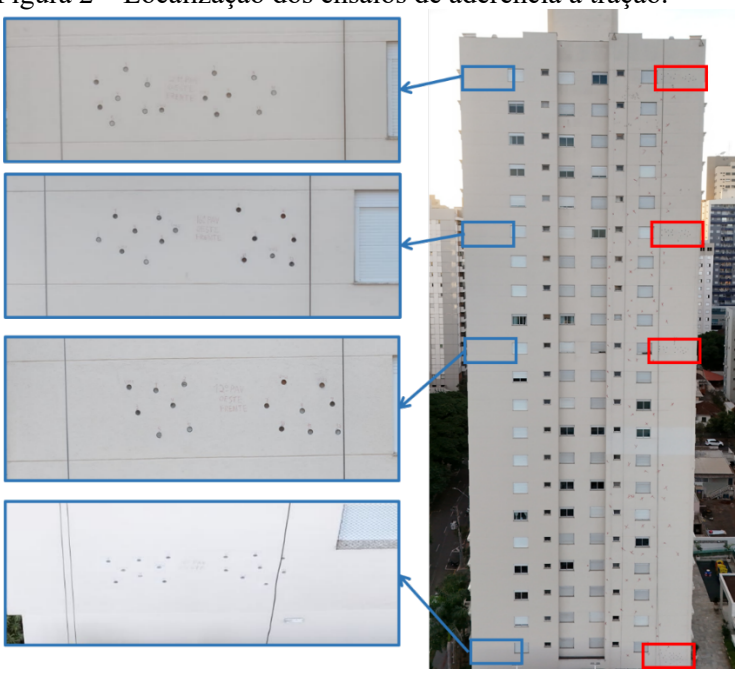
Fase 1 — Percussão e inspeção visual: Percussão integral da superfície com martelete de percussão em toda a extensão da fachada oeste, acessada por balancim e rapel. As regiões com som cavo foram demarcadas e registradas. Inspeção visual por drone com mapeamento de fissuras diagonais a 45° e horizontais. 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

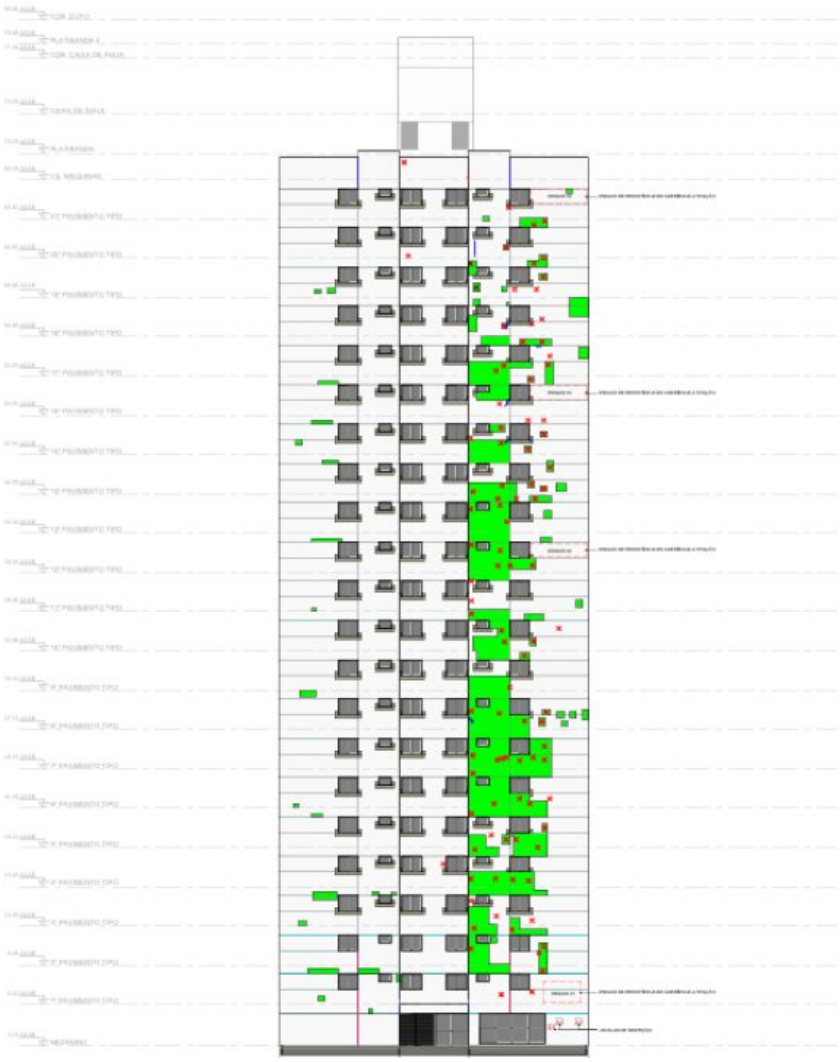
Os resultados dos ensaios de aderência foram submetidos à análise estatística descritiva por painel, com determinação de média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação. O modo de ruptura foi classificado conforme ABNT NBR 13528 em: coesivo entre camadas de argamassa (argamassa/argamassa), 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.

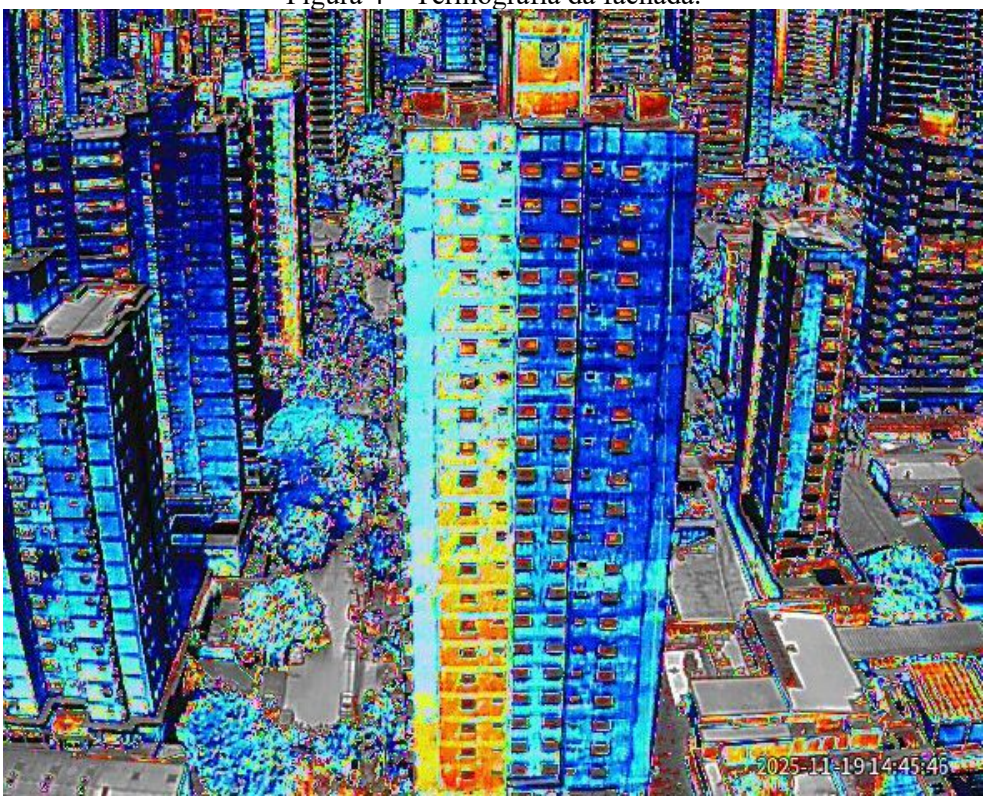
Figura 3 – Mapeamento das áreas com presença de som cavo na fachada por meio do ensaio de percussão.



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.