A SEGURANÇA DAS OBRAS NO BRASIL DISCUTIDA SOB DIFERENTES PONTOS DE VISTA. TRAGA O SEU.
1º CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
ALCONPAT BRASIL
21 a 23 de maio de 2014 - Foz do Iguaçu - PR

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM LAJE DE UMA EDIFICAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

BERTOCINI, S. R.[1], CHEUNG, A. B.[2], FRANÇA, V. R. P.[3], SCUARCIALUPI, G. M.[4], SIQUEIRA, H. L.[5]

[1] UFMS, professora, Mestra, e-mail: sandra.bertocini@gmail.com
[2] UFMS, professor, Doutor, e-mail: andres.cheung@ufms.br
[3] UFMS, acadêmico, graduação, e-mail: victor23rondon@hotmail.com
[4] UFMS, acadêmico, graduação, e-mail: gascuarcialupi@hotmail.com
[5] UFMS, acadêmico, graduação, e-mail: henrique217@hotmail.com

RESUMO

Estruturas projetadas há mais de 50 anos em estabelecimentos públicos sofrem, na maioria das vezes, pela falta de conservação e manutenção, com uma significativa diminuição de sua vida útil. Somados a isso, existe uma grande dificuldade de se obter os projetos originais da obra e a forma como foi executado o "*as built*". Neste trabalho, realizou-se um estudo das manifestações patológicas encontradas em uma laje maciça, com aproximadamente 40 anos de construção e utilização, por meio de vistoria técnica. A metodologia empregada para a investigação consistiu em avaliar: deslocamentos, fissuras, vazamentos, impermeabilização, resistência e corrosão. A partir da vistoria realizada, foi possível identificar problemas de grandes deslocamentos, falha no sistema de impermeabilização e corrosão.

Palavras chave: manifestações patológicas, laje, manutenção de construções.

ABSTRACT

Structures designed for more than 50 years in public facilities suffer mostly due to lack of upkeep and maintenance, with a significant decrease of its life cycle. Added to this, there is great difficulty in obtaining the original project of the building and it was built. In this work, a study was conducted of the pathological manifestations that were found in a two-way slab, about 40 years of construction and use, through technical inspection. The methodology used for the research was to assess: displacements, cracks, leaks, waterproofing, and corrosion. From the survey conducted, it was possible to identify problems with large displacements, waterproofing system failure and corrosion.

Keywords: Pathological manifestations, slab, maintenance of buildings.

1. INTRODUÇÃO

O estudo das estruturas é marcado pelo conhecimento cientifico do comportamento tanto estrutural quanto funcional. Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas dando ênfase na investigação sobre durabilidade, resposta mecânica e conforto das edificações. Atualmente, no Brasil, destaca-se a norma de desempenho ABNT NBR 15575: 2013 que define critérios mínimos de desempenho para os sistemas estruturais, bem como as recomendações para a durabilidade.

Petrucci (1972) afirma que: "*as estruturas, assim como os homens, são concebidas, nascem, vivem, cumprindo a missão para a qual foram projetadas, algumas poucas vezes morrem em velhice, muitas morrem assassinadas pelo progresso, que as substitui por estruturas com funcionalidades atuais e algumas delas adoecem. Tratadas em tempo as suas doenças, são elas recuperadas; outras vezes, quando não tratadas convenientemente, a estrutura vem a perecer dessa mesma doença*".

A durabilidade de uma estrutura de concreto depende essencialmente de sua concepção, da realização correta do cálculo da estrutura, do controle tecnológico, isto é, estudo da dosagem do concreto e da execução, como também da manutenção preventiva periódica. Muitos são os fatores que interferem seu desempenho, podendo-se enumerar alguns dos principais segundo Medeiros et al. (2011):

- lixiviação (águas puras e ácidas);
- expansão (sulfatos, magnésio / reação álcali-agregado);
- reações deletérias (superficiais do tipo eflorescências).
- corrosão devida à carbonatação do concreto;
- corrosão por elevado teor de íon cloro (cloreto).
- ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas (fadiga), deformação lenta (fluência), relaxação, abertura de fissuras e outros considerados em qualquer norma ou código regional, nacional ou internacional, mas que não fazem parte de uma análise de vida útil e durabilidade tradicional.

Segundo Helene (1997) um grande número de estruturas já apresentavam manifestações patológicas na década de 90, principalmente com problemas de corrosão de armaduras, como resultado do envelhecimento precoce das construções existentes. Atualmente, este cenário não melhorou, pelo contrário, em muitas cidades o número de casos de corrosão de armaduras vem aumentando, mesmo com avanço dos materiais e com o aumento dos cobrimentos das armaduras segundo a norma ABNT NBR 6118:2007.

No que diz respeito ao comportamento estrutural, muitos autores apresentaram trabalhos mostrando manifestações patológicas oriundas de concepções estruturais equivocadas, erros de detalhamento das armaduras e desconhecimento fenomenológico. Alguns trabalhos associaram a investigação, tanto os mecanismos de deterioração do concreto e do aço quanto de comportamento estrutural, como: Nakao et al. (2008), Nakao et al. (2009).

Segundo BERTOLINI (2010) o uso de métodos de ensaios não destrutivos pode ajudar nos procedimentos de inspeção do concreto. O método de esclerometria é utilizado para verificar a uniformidade do concreto na estrutura analisada, tomando várias medidas em vários pontos

da estrutura para depois realizar uma análise comparativa.

Conforme a ABNT NBR 7584:2012 "*Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão",* a influência da carbonatação na dureza superficial do concreto é significativa e promove a superestimação da resistência, portanto devem ser definidos coeficientes corretivos, a fim de minorar o efeito da carbonatação sobre o aumento da dureza superficial do concreto. Em casos extremos esses valores podem superar em 50% a dureza superficial real, dependendo da espessura carbonatada (em alguns casos a camada ultrapassa 20 milímetros de carbonatação).

Segundo Ferreira (2000), a carbonatação tem séria consequência no que tange a durabilidade da estrutura, tal fenômeno reduz o pH da água no concreto endurecido para um valor inferior a 9, valor este que geralmente está entre 12,6 e 13,5. A diminuição do pH causa despassivação da armadura e elimina a camada de óxido que protege quimicamente o aço no concreto, possibilitando assim um ambiente propício à corrosão do mesmo.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Contexto e localização

Foi realizada uma inspeção em uma área de 300 metros quadrados de uma laje de concreto que cobre o corredor da FAENG (Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul em Campo Grande, onde se buscou obter dados a respeito da resistência do concreto empregado, nível de carbonatação e a deformação da laje. Observa-se nas figuras 1 e 2 o Campus da UFMS bem como os trechos de laje que foram estudados.



Figuras 1 e 2: Campus da UFMS e trecho da laje estudado. Fonte: Google Maps.

A laje do estudo em questão tem apresentado nos últimos 30 anos uma série de manifestações patológicas decorrentes, principalmente decorrentes da infiltração de água pluvial, sendo elas: fissuras, desplacamentos e pontos de infiltração, que apresentam formação de sedimentação dos sais "lavados" pela água das chuvas, como se pode observar nas figuras 3 e 4. Tal problema tem como principais fatores causadores, a ineficaz impermeabilização da laje, em conjunto com a retenção de água por drenagem insuficiente da superfície do elemento, além

de que, recentemente, muitas pessoas sobem nas lajes sem tomar a devida precaução, danificando as telhas e permitindo a formação novas infiltrações.



Figuras 3 e 4: Vista do corredor abaixo da laje e detalhe da sedimentação, respectivamente. Fonte: Autores.

O aparecimento de fungos e microrganismos (figuras 5 e 6) acontece devido a má impermeabilização da estrutura, além do alto índice de isolamento térmico decorrente da espessura elevada da laje, o que dificulta a evaporação da água/umidade pelo sol. Essa manifestação patológica gera desconforto aos usuários, visto que a mancha causada pelos fungos é extensa e presente ao longo do corredor.



Figuras 5 e 6: Formação de bolor e ação de microrganismos. Fonte: Autores.

Entre 2013 e 2014 foi realizada uma repintura da laje, onde esta foi recoberta com uma nova camada de tinta e massa corrida, escondendo assim marcas de fissuras, ação de fungos, sedimentação e desplacamentos existentes (figura 7). Sabendo que os problemas não foram solucionados, pouco tempo após a realização das alterações, foram constatados vários trechos na laje onde ocorreram novas formações das mesmas manifestações patológicas, verificando ainda perda de seção transversal da armadura em 16%.

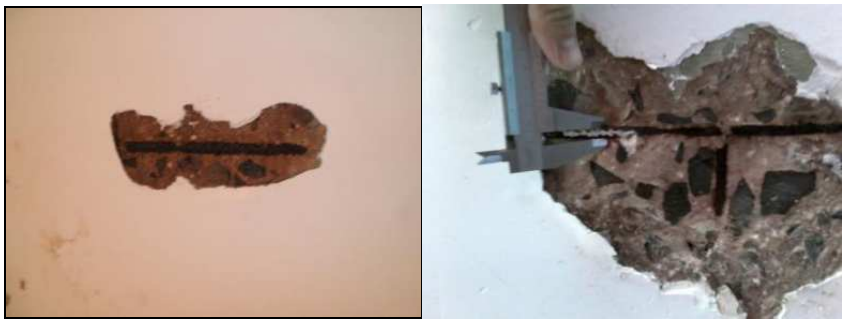


Figura 7: Detalhe de desplacamento após a repintura e corrosão da armadura. Fonte: Autores.

Constataram-se aberturas que permitem a passagem de águas pluviais pela laje, evidenciada pela infiltração de água, manchas na face inferior e gotejamento. Em todos os painéis é visível a presença de fissuras sistemáticas à 45^0 nos cantos oriundos, provavelmente, pela falha no detalhamento da armadura responsável por absorver os momentos volventes. Associado a isso, observa-se grandes deslocamentos verticais provenientes da deformação lenta do concreto, associado a mecanismos de deterioração por corrosão da armadura (confirmada por ensaio de medida da seção de aço) com a perda de rigidez, pode-se observar na figura 8 e 9.



Figuras 8 e 9: Fissuras nos cantos da laje. Fonte: Autores.

Outros problemas, frequentes em estruturas semelhantes, cujas principais causas e origens são descritas por Andrade e Silva (2005), também foram detectados, como por exemplo, a corrosão de armaduras nas lajes por infiltração de água, a falta de vedação dos rufos de fechamento das juntas de dilatação, e o acúmulo de água em alguns pontos isolados que, além da deterioração progressiva possível, permite a proliferação de insetos.

2.2 Metodologia

A inspeção e análise da laje foi dividida em duas fases. A primeira fase consistiu em uma investigação preliminar, avaliação global da estrutura e da extensão do dano, aspectos visuais, trincas, gotejamento, corrosão, manchas, entre outros. Na segunda fase foi feita a medição da deformação vertical da laje, a realização de ensaios de esclerometria, de carbonatação e retirada de algumas partes do concreto para analisar a extensão da corrosão das armaduras.

A laje que cobre o corredor foi dividida em segmentos de L1 a L15, os quais foram tomados como amostras representativas para os ensaios visuais de verificação de trincas, fissuras, desplacamentos e infiltrações. Foram realizados 4 (quatro) ensaios de esclerometria e para cada ensaio de esclerometria foram realizados 3 (três) ensaios de carbonatação.

2.2.1 Medidas de deslocamento vertical

O deslocamento vertical da laje foi tomado em uma sequência de pontos que formaram um perfil da estrutura. Com o auxílio de um nível topográfico eletrônico e uma régua topográfica, foi verificada, a cada 3 metros, a diferença entre as alturas da laje a partir de um nível referencial (próprio nível topográfico).

O método para se medir a deformação (deslocamentos verticais) da estrutura foi composto pela medição da flecha das lajes por meio da régua topográfica, do nível eletrônico e do tripé, e consiste no seguinte procedimento:

Para o desenvolvimento do experimento, primeiramente se montou o equipamento (nível eletrônico) sobre o tripé (ver figura 10). Posteriormente, marcaram-se os pontos de início, meio e fim da laje no chão. Realizou-se a medição dos níveis da laje, medindo a variação da altura do nível do aparelho até a laje. Por fim se obteve os esquemas gráficos da deformação.



Figura 10: Medição da deformação (flecha) da laje. Fonte: Autores.

2.2.2 Carbonatação

Primeiramente, realizou-se uma abertura na laje com uma marreta e um ponteiro, limpou-se o local e dentro do mesmo aplicou-se a solução de fenolftaleína, se esta reagisse com os materiais no orifício e se tornasse rosa, dar-se-ia por encerrada a análise desta abertura. Caso a fenolftaleína não reagisse com os materiais do orifício, seria necessário aprofundar a abertura continuando a perfuração da laje, até o ponto em que a abertura, quando úmida pela solução de fenolftaleína, se tornasse rosa. Analisou-se, também, se o cobrimento estava realizando sua função (proteger o aço de possíveis ataques de intempéries) o procedimento adotado segue evidenciado pelas figuras 11, 12, 13 e 14, respectivamente.



Figuras 11 e 12: Abertura no concreto para verificação de carbonatação e limpeza da superfície. Fonte: Autores.



Figuras 13 e 14: Aplicação de fenolftaleína e medição da distância do início de carbonatação. Fonte: Autores.

2.2.3 Esclerometria

Visando determinar a dureza da superfície do concreto para estabelecer uma possível resistência do concreto foi realizado o ensaio de esclerometria. Para tal, foi utilizada a norma ABNT NBR 7584:2012. Realizou-se a limpeza da superfície da laje, lixando-a e retirando a camada protetora, aplainando a superfície inferior da laje. Marcou-se com o auxílio de um gabarito, 16 pontos para posterior execução do ensaio, com o equipamento do tipo Schmidt. Após a coleta de dados foi realizada análise para determinação dos resultados. Foram ensaiados 4 (quatro) trechos da laje em questão, procurando evitar regiões úmidas ou com proximidade de armaduras expostas.



Figuras 15, 16 e 17: Ensaio de esclerometria. Fonte: Autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Estudos da deformação ao longo do tempo das lajes

A partir das medidas de deslocamentos, realizadas com auxílio de nível eletrônico, pode-se observar que os valores encontrados estão muito acima dos recomendados pelas normas ABNT NBR 6118:2007 e ABNT NBR 15575: 2013. Cabe ressaltar que os pontos ímpares são referentes ao local onde se encontram as vigas transversais que ligam os pilares, enquanto os pontos pares são os pontos centrais de cada trecho (ver: Tabela 1, Figura 18 e Figura 19).

Tabela 1: Deformação vertical da laje.

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Deslocamento vertical (cm)	0	10,3	0	9,9	0	8,5	0	6,7	0

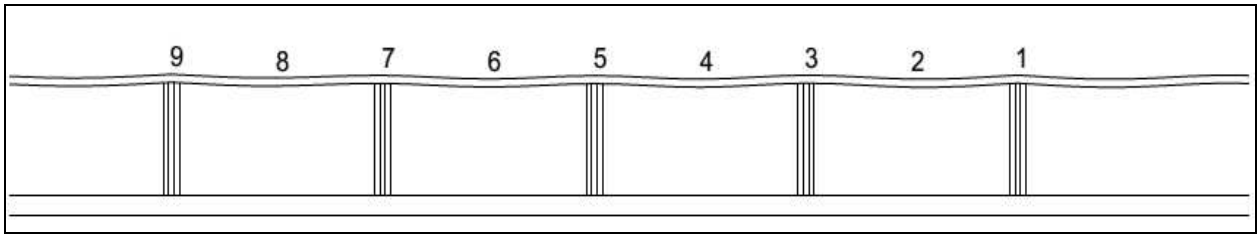


Figura 18: Perfil da deformação vertical (corte transversal da laje). Fonte: Autores.

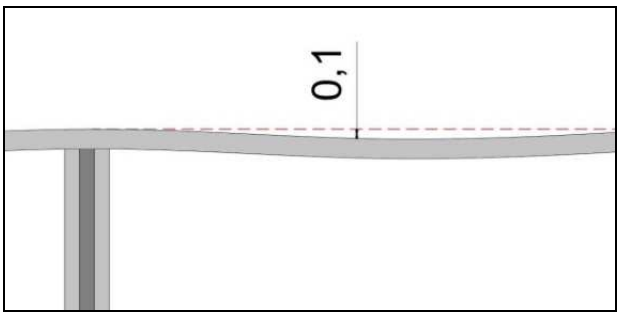


Figura 19: Detalhe da deformação vertical (em metros). Fonte: Autores.

Provavelmente, a origem dos deslocamentos elevados consiste de uma parcela gerada pela deformação lenta do concreto e outra pela perda de rigidez da laje devido à intensa fissuração e perda de seção transversal das armaduras (diminuição da massa) pelo processo corrosivo, todos os aspectos observados pela inspeção visual.

3.2 Carbonatação

Foram ensaiados 12 pontos da laje, conforme Tabela 2, buscando obter dados referentes à carbonatação da laje de concreto.

Tabela 2: Resultados de ensaios de carbonatação.

Ponto	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Carbonatação	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Nível de carbonatação (mm)	6	6	6	16	25	25	15	15	9	30	13	6

Observou-se após a realização dos ensaios de carbonatação que todos os pontos haviam sofrido carbonatação com uma profundidade média de 14,33 mm, cabe citar que o cobrimento da armadura em projeto foi constatado como sendo 5,0 mm (obedecendo às normas vigentes da época), porém tal valor é inferior ao nível de carbonatação constatado.

Contextualizando tal fato com uma recente mudança na norma ABNT NBR 6118:2007, onde a espessura do cobrimento mínimo do CA (concreto armado) passará a ser de 30 a 40 milímetros, pode-se averiguar o real aumento na vida útil de determinado elemento quando eleva-se a espessura de cobrimento do mesmo pois tal aumento retarda o processo de despassivação da armadura pela ação da carbonatação do concreto. O concreto da laje em questão está carbonatato a ponto de atingir a armadura, perdendo assim sua função de cobrimento e proteção. Por consequência dessa carbonatação, ocorreram em alguns trechos o desplacamento do concreto, devido à expansão da armadura por corrosão, expondo o aço.

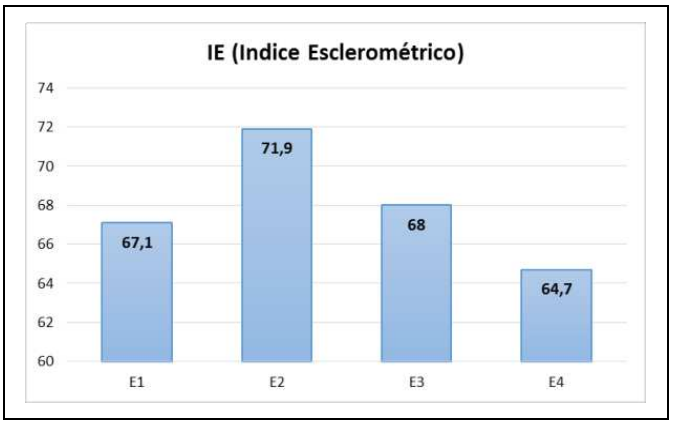


Figura 20: Desplacamento do concreto. Fonte: Autores.

3.3 Esclerometria

Os resultados do ensaio de esclerometria, gráfico 5, mostram os valores dos índices esclerométricos (IE), sendo este uma média dos 16 pontos para cara trecho medido. Tais resultados podem dar a impressão de um concreto com resistência superior há 15 MPa, porém deve-se ater ao tempo de execução, aproximadamente 50 anos, que tem grande influência nos resultados, assim como os outros fatores: tipo de cimento, tipo de agregados, forma da superfície, umidade na superfície, carbonatação, operador do equipamento e outras.

Gráfico 5: Índice Esclerométrico.



O Índice Esclerométrico indica a dureza superficial do concreto e pode ser correlacionado com a resistência à compressão do concreto, atentando-se a fatores que podem influenciar a comparação, tal como a carbonatação do concreto. Os resultados das resistências do concreto podem ser obtidos dos corpos de prova moldados ou extraídos da estrutura, através de curvas de correlações de natureza empírica ou curvas de aferição direta, portanto comparando a dureza superficial medida em vários pontos, correlacionando com a uniformidade do concreto na estrutura. Quando compara-se os resultados dos índices esclerométricos médios do gráfico 5 pode-se observar que os valores apresentam proximidade, classificando assim este concreto como uniforme.

Observa-se que, de acordo com os resultados do gráfico 5, os valores dos IE médios poderiam ser comparados com um concreto de resistência a compressão superior à 15 MPa, porém este apresenta uma espessura de carbonatação média de 14,33 mm. Segundo a ABNT NBR 7584, em casos extremos, a carbonatação poderá superar os valores reais em mais de 50% em função da espessura da camada carbonatada, sendo assim, estes valores poderiam ser compatíveis com os valores de resistência do concreto na época da construção da laje. O ensaio esclerométrico neste caso foi de grande utilidade para verificar a uniformidade dos concretos aplicados na laje.

4. CONCLUSÃO

Com todo o exposto (presença de infiltrações, fissuras, desplacamentos e exposição de armaduras na laje) pode-se apontar risco de colapso estrutural, caso não sejam tomadas providências para reforço estrutural da laje ou devida contenção, uma vez que os deslocamentos apresentam-se com valores elevados e as armaduras encontram-se, em sua grande maioria, em processo de corrosão e despassivadas, conforme mostrado no ensaio de carbonatação.

A constatação de que todos os trechos sofreram carbonatação era esperada, tal como o fato de que o nível de carbonatação alcançou a armadura da laje, visto que a deformação excessiva da laje, bem como a formação de fungos na mesma indicava um alto nível de carbonatação. Com isso, a armadura sofreu despassivação.

O ensaio esclerométrico realizado não foi devidamente utilizado para correlacionar com a resistência a compressão do concreto, mas comprovou a uniformidade dos concretos aplicados e que a dureza obtida possui valores muito altos para resistências a compressão com valor de 15 MPa, tal fato pode ser devido a grande espessura de carbonatação, idade elevada da estrutura, tipos de agregados, entre outras.

Após o estudo ficou evidente a necessidade da intervenção estrutural no sistema vistoriado para que os requisitos de segurança, estanqueidade e durabilidade sejam reestabelecidos. Também são necessários maiores estudos para verificação da vida útil e ductilidade do elemento, tais como: ensaios de prova de carga e perda de massa da armadura.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, T., SILVA, A. J. C., **Patologia das Estruturas. Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações** – IBRACON, Geraldo C. Isaia, São Paulo, SP, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-2:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013. 31 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 53 p.

HELENE, P. H. Introdução da Durabilidade no Projeto das Estruturas de Concreto. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 45-57, 1997.

MARTINS, J. C. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575:2013**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 299 p.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O., HELENE, P., **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. Concreto: Ciência e Tecnologia** – Ibracon, Geraldo C. Isaia, São Paulo, SP, 2011.

NAKAO, R.; LIMA, J. F.; BERTOCINI, S.; NOVA, W. V. V.; LIMA, E. A. M.; RIBEIRO, G. **Avaliação de patologias na ponte ferroviária Eurico Gaspar Dutra sobro o Rio Paraguai, no pantanal de Mato Grosso do Sul**, 51º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Curitiba-PR, 2009.

NAKAO, R.; LIMA, J. F.; FREITAS, T.; GONÇALVES, G. K. M.; SOARES, A. M.; SILVA, J. C. O. **Avaliação de patologias no estádio universitário Morenão.** 50º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Maceió - AL, 2008.

PETRUCCI, E. G. R. Patologia das Estruturas. In: 1^0 CICLO DE PALESTRAS REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 1972, Rio de Janeiros. **Anais...** Patologia das

Estruturas: um desafio à engenharia**:** livro de resumos. Rio de Janeiro: Clube de Engenharia, 1972. 140 p.

BERTOLINI, L**. Materiais de Construção: Patologia, Reabilitação, Prevenção/** tradução Leda Maria Marques Dias Beck, São Paulo, Oficina de Texto, 2010.

FERREIRA R.M. **Avaliação de ensaios de durabilidade do betão.** Dissertação apresentada, Escola de Engenharia do Minho, grau de mestre em engenharia, editora Guimarães setembro de 2000.