

ANÁLISE PATOLÓGIA ATRAVÉS DO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO UTILIZANDO RESISTIVIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL DO CONCRETO

ANALYSIS PATHOLOGY THROUGH TEST USING NON-DESTRUCTIVE ELECTRICAL CONCRETE RESISTIVITY SURFACE CONCRETE

COSTA, Josiane Moraes

Especialista em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais.
josianemoraescosta@gmail.com

AZZI, Sarah Silva

Engenheira Civil pela Universidade Fumec.
saraazzi@hotmail.com

CAMPOS, Emanuelle Galvão de

Graduanda pela Universidade Federal de Minas Gerais
manu_campos12@hotmail.com

ARAÚJO, Fabiana Madeira de

Mestrando, Universidade Federal de Minas Gerais.
fabianamadeira@gmail.com

LAGE, Eduardo Brando Diniz

Mestrando, Universidade Federal de Minas Gerais.
brandaolage@yahoo.com.br

RESUMO

As patologias podem ser definidas como o estudo dos desgastes e dos danos ocorridos nos materiais das edificações. Estas anomalias podem se manifestar de várias maneiras como: infiltrações, trincas, fissuras ou excesso de umidade na estrutura. As patologias oriundas da umidade são frequentemente observadas em todo tipo de obra e são extremamente perigosas para a armação metálica. O presente artigo consiste em analisar e identificar uma patologia higroscópica em um pilar de estrutura de concreto na cidade de Pompéu/MG, utilizando ensaios não destrutivos integrados baseados na resistividade elétrica. Serão apresentados valores e técnicas capazes de prevenir o surgimento dessas patologias.

Palavras-chave: Patologias. Resistividade elétrica. Umidade.

ABSTRACT

The pathologies may be defined as the study of the wear and damage occurring in the materials of buildings. These anomalies can manifest itself in many ways: leaks, cracks, fissures or excess moisture in the structure. Pathologies arising from moisture are often observed in all kinds of work and are extremely dangerous to the metal frame. This article is to analyze and identify a hygroscopic pathology in a concrete pillar structure in the city of Pompéu/MG, using non-destructive testing based on integrated electrical resistivity. Values and techniques to prevent the onset of these diseases will be presented.

Keywords: Pathologies. Electrical resistivity. Humidity.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de concretos que não estão sujeitas a monitoramento, conservação e manutenção, estão propensas à ocorrência de danos nas estruturas. Esses danos ocorridos são um dos grandes problemas da construção civil, que estão cada vez mais presente nas edificações e obras. Aos estudos dos danos que sofrem as estruturas de concreto dá-se o nome de estudo das Patologias nas construções.

O concreto é um material que possui baixa proteção a mudanças climáticas, o que reduz o desempenho da estrutura e altera sua resistência mecânica. Os ensaios não destrutivos são várias técnicas diferentes que visam diagnosticar as estruturas de forma rápida, simples e prática, como um concreto armado expostos ao tempo.

Segundo Helene (1992) “a patologia pode ser entendida como parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.”. Ao se iniciar uma obra é de extrema necessidade que todas as fases da estrutura de concreto sejam corretamente elaboradas e executadas, sempre tomando as devidas precauções, a fim de evitar que as patologias venham a ocorrer em algumas das etapas de concepção da obra.

Os desenvolvimentos da patologia das construções e dos ensaios não destrutivos estão possibilitando a correta atuação na solução dos problemas apresentados pelas estruturas, e conseqüentemente estendendo a vida útil da mesma. Entender todo o processo de patologias e como elas acontecem é o primeiro passo para evitar que ocorram problemas durante alguma fase da construção e posteriormente da estrutura.

As manifestações patológicas podem apresentar-se de diversas formas diferentes, seja através de uma trinca, de uma fissura ou de problemas com umidade. A tarefa do engenheiro, diante de uma situação anômala, é entender como estas surgiram, identificar como se encontra o estado das estruturas e avaliar formas para solucionar o problema, evitando que se agrave.

Uma técnica não destrutiva para avaliar a estrutura de concreto é a análise por resistividade elétrica. Essa prática permite que a estrutura seja investigada na obra, ao invés do estudo em laboratório.

O trabalho consiste em um estudo de caso de uma patologia na cidade de Pompéu/MG, na qual foi analisada uma estrutura de concreto que já apresenta um processo de deterioração e precisa de uma solução para a sua recuperação e proteção estrutural. Segundo

Souza (2008) apud Verçoza (1991), quando se conhece os problemas ou defeitos que uma construção pode vir a apresentar e suas causas, a chance de se cometer erros reduz muito.

2. ENSAIOS REALIZADOS

2.1 MEDIDOR DE UMIDADE

A umidade representa a quantidade de água incorporada e absorvida pela estrutura de concreto, seja por falta de impermeabilização da fundação, do contrapiso ou da parede. Esse tipo de umidade também conhecida como umidade ascendente é responsável por influenciar nos resultados de diversos ensaios laboratoriais realizados no concreto, então é de extrema importância que esse parâmetro seja identificado e tratado da maneira mais correta.

Segundo Sahuinco (2011) apud Andrade (1992), “o concreto é um material que absorve com facilidade a umidade do ambiente, mais em compensação seca muito devagar”. As avarias que a absorção de água pode trazer para as estruturas de concreto são de enormes proporções, como a corrosão da armadura, umidificação e segregação do concreto entre outros danos.

Para realizar uma medição adequada da umidade na estrutura foi utilizado o equipamento da generate MMD4E, apresentado na Figura 1. O equipamento mede a umidade em estruturas de madeira e de concreto.

Figura 1: Medidor de umidade Generate MMD4E.



Fonte: Autores, 2017.

O Medidor de Umidade de Materiais Portátil detecta a umidade do material, com a possibilidade de indicar ocorrência de vazamento ocultos em madeira, concreto, drywall e carpete. O equipamento mostra o valor da umidade, na tela de LED, em porcentagem e apresenta também ampla faixa de medição, fortes pinos de aço inoxidável, alarmes sonoros e

indicação de status da bateria.

A medição do teor de água pelo equipamento é na precisão de 3% para madeira e 0,1% para materiais de construção. Já a variação de medição global é de 5 a 50% para madeiras e 1,5 a 33 % para materiais de construção.

2.2 RESISTIVIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL

A resistividade elétrica é caracterizada pela capacidade da estrutura de resistir a passagem da corrente elétrica e está associada a velocidade do processo de corrosão das armaduras, podendo indicar o grau e a distribuição de umidade no concreto, a presença de íons cloreto e a taxa de corrosão da armadura (BERNOULINI *et al*, 2004; POLDER, 2001).

A resistência elétrica do material é a relação entre a tensão aplicada e a corrente medida. Segundo Andrade (2004), a resistividade do concreto é influenciada pelas características microestruturais da matriz do concreto relacionado a alguns fatores como a quantidade e tamanhos dos poros, composição e concentração da água livre e as características ambientais que o concreto está submetido.

A técnica dos quatro eletrodos que utiliza o método de Wenner é aplicada para determinar a resistividade elétrica superficial do concreto. Segundo Polder (2001), ela vem sendo utilizada como parâmetro para a previsão da vida útil da estrutura e está relacionada ao processo de deslocamento dos agentes agressivos no interior do concreto. O ensaio de resistividade elétrica superficial foi realizado com a utilização do equipamento Resipod da Proceq, Figura 2. Esse método deve ser feito em superfície uniforme e úmida.

Figura 2: Medidor de resistividade elétrica superficial da PROCEQ.



Fonte: Autores, 2017.

Lencioni (2011) menciona que a resistividade elétrica do concreto se refere a um ensaio não destrutivo e permite avaliar a resistência do concreto à penetração de íons cloreto, efeitos de condições de cura da microestrutura do concreto e o processo de desenvolvimento

da hidratação de matrizes cimentícias com adições minerais.

Conforme Andrade (1992), Hunkeler (1996) e Neville (1997), as altas taxas de corrosão, ou seja, o aumento do teor de cloretos no interior do concreto influencia significativamente na queda da resistividade elétrica do concreto. Polder (2001) retrata que quanto maior é a penetração da água, maior é o grau de umidade do concreto e menor será a sua resistividade elétrica, tornando mais fácil o fluxo da corrente elétrica.

O ensaio consiste no posicionamento de 4 eletrodos em contato com o concreto, alinhados e de distâncias iguais um do outro, podendo ser empregado tanto no laboratório quanto in loco. A resistividade é medida através da leitura da corrente elétrica gerada por uma diferença de potencial aplicada entre eletrodos, colocados sobre a superfície do concreto, obtendo a medida desejada (SANTOS, 2006). Polder (2001) apresenta uma análise da possibilidade de corrosão em função dos valores da resistividade elétrica, segue Tabela 01:

Tabela 01: Probabilidade de corrosão em função da resistividade

| Resistividade do concreto (Ohms.m) | Risco de corrosão |
|------------------------------------|-------------------|
| <100 | Alto |
| 100 - 500 | Moderado |
| 500 - 1000 | Médio |
| > 1000 | Desprezível |

Fonte: Polder, 2001.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo desse artigo é analisar as patologias através da verificação dos valores de resistividade elétrica em diferentes pontos da estrutura e correlacioná-los com os resultados apresentados na Tabela 01.

Buscou informações sobre a idade da estrutura, processo construtivo seguido da época de execução da obra e projeto estrutural, características das peças, aplicações e condições de exposição durante o uso. E foi identificado que é uma edificação em concreto armado, com cerca de 20 anos e sem projeto estrutural. O local, hoje, é usado como um depósito para fins comerciais, a parte afetada da estrutura é externa e fica exposta a intemperes. Na Figura 3 é identificado cada parte da estrutura analisada:

Figura 3: Identificação das partes.



Fonte: Autores, 2017.

Analisando a Figura 4, nota-se que o pilar da estrutura apresenta um quadro característico de corrosão de armadura. É possível observar que a viga baldrame, a base, não foi impermeabilizada. A parede apresenta patologia oriunda de umidade excessiva e há presença de bolor. A condição encontrada é inadequada a uma estrutura de concreto.

Figura 4: Patologia na estrutura.



Fonte: Autores, 2017.

Os primeiros valores apurados foram de umidade ao longo do pilar. De acordo com a Tabela 02 a umidade do contrapiso em torno do local era de 33% (máximo a medição do aparelho), na base 18% e na parte superior, onde não apresentava patologias de umidade, 6 %, isso anterior ao teste de resistividade elétrica no qual é necessário umedecer o local.

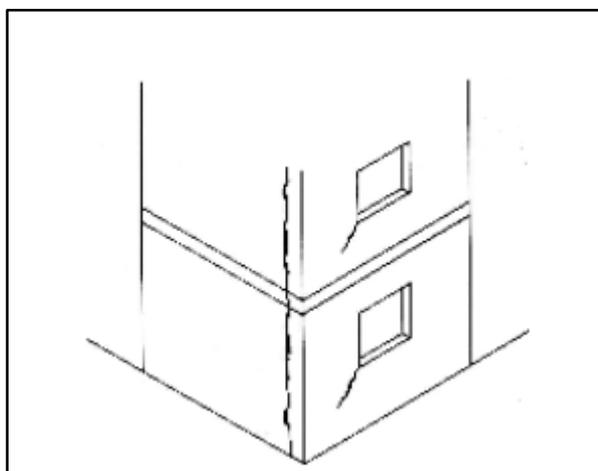
Tabela 02: Valores de Umidade

| Ponto medido | Valor de umidade (%) | |
|----------------|----------------------|--------------------|
| | Anterior umedecer | Posterior umedecer |
| Contrapiso | 33 | 33 |
| Base | 18 | 22 |
| Base interna | 14,5 | 22 |
| Parte superior | 6 | 22 |

Fonte: Autores, 2017.

Água presente no solo poderá ascender por capilaridade à base da construção, ocasionado então os problemas na estrutura devido a umidade. De acordo com Thomaz (1989), as mudanças higroscópicas ocasionam modificações nas dimensões dos materiais porosos que integram os elementos e componentes da construção.

Figura 5: Fissuração vertical da alvenaria no canto da obra provocada por movimentação higroscópica



Fonte: Thomaz (1989).

Com o aumento da umidade, há uma expansão do material. Thomaz (1989), afirma ainda que as patologias oriundas de umidade higroscópica, Figura 5, têm como características provocar uma trinca longitudinal no elemento de concreto, semelhante as trincas causadas pelas alterações térmicas. A Figura 6 apresenta a trinca que se inicia na base e se estende longitudinalmente pelo pilar.

Figura 6: Trinca longitudinal ao pilar.



Fonte: Autores, 2017.

A barra de aço, componente da estrutura, ao ficar em meio permanentemente úmido e exposto diretamente ao oxigênio, entrou em processo de corrosão. Na Figura 7 nota-se a corrosão ativa no local da patologia.

Figura 7: Barra de aço apresentando corrosão. (A) Inferior, (B) superior



Fonte: Autores, 2017.

Após análise visual da estrutura, o local foi umedecido para a execução do ensaio de resistividade elétrica. Foram apurados os valores de resistividade na parte inferior do pilar próximo a base e no final do pilar, Tabela 03.

Tabela 03: Valores de Resistividade elétrica

| Ponto de ensaio | Resistividade elétrica |
|-----------------|------------------------|
| Inferior | 321,5 |
| Superior | 1205,0 |

Fonte: Autores, 2017.

O valor de resistividade na parte inferior é 74% menor que o valor da resistividade elétrica na parte superior.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização dos ensaios não destrutivos para a determinação e identificação das patologias nas estruturas de concreto são métodos eficazes e econômicos. A facilidade na obtenção dos resultados, a economia de tempo e a rapidez dos ensaios, corrobora para uma maior necessidade dos pesquisadores em usar essas técnicas.

A manifestação anômala, ocasionada devido à presença de umidade, foi caracterizada como uma patologia higroscópica, conforme comprovado nas Figuras 6 e 7. Essa manifestação gera ataques de íons de cloreto, e quanto mais úmido o concreto, mais a armadura sofre com o efeito de corrosão. Essa situação pode ser comprovada na Figura 7 que demonstra que a corrosão do aço na base é bem maior que na parte superior.

A resistividade elétrica do concreto corrobora para a prevenção do processo corrosivo por ataques de íons de cloreto, pois ela demonstra se o concreto do revestimento nominal está adequado para aquela estrutura. Pode-se comprovar esta situação pelo estudo realizado neste artigo, na Tabela 03, foi constatado que a resistividade elétrica é menor na base do pilar, pode-se entender que, de acordo com a Tabela 02, há mais umidade favorecendo, assim, o ataque dos íons de cloreto. Comparando a Tabela 01 e 03 pode-se perceber que os valores da resistividade elétrica na base são passíveis de uma corrosão moderada, como demonstrado na Figura 07-A, e na parte superior desprezível, como demonstrado na Figura 07-B.

A corrosão aparente na parte superior deve-se, principalmente, a manifestação das trincas higroscópicas e por não trata-las em tempo hábil. Entretanto, a corrosão na parte inferior é mais agressiva que na parte superior, pois foi baseada no ataque de íons por penetração no revestimento do concreto, como também do surgimento das trincas higroscópicas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. D. C. – **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo – Pini, 1992.

ANDRADE, C. Calculation of initiation and propagation periods of service life of reinforcement by using the electrical resistivity. In. International symposium on Advances in Concrete through Science and Engineering, RILEM. Proceedings. Evanston: 2004. P. 1-8.

BERTOLINI, L. *et al.* **Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair**. Second, Completely Revised and Enlarged Edition, 2004.

COMPRAFARI. **Medidor Digital de Umidade para Madeira, Gesso, Concreto, Telhados, Pisos, Carpetes, etc MMD4E - General Tools & Instruments**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.comprafari.com/medidor-digital-de-umidade-para-madeira-mmd4e-general-tools-e-instruments/>>. Acesso em: 11 de Julho 2017.

EBAY. **Medidas General Tools Drywall Madeira Visor Lcd Pin-Tipo Digital Medidor De Umidade**. Estados Unidos. Disponível em: <<http://www.ebay.com/itm/General-Tools-Measures-Wood-Drywall-LCD-Display-Pin-Type-Digital-Moisture-Meter-/201967610940?hash=item2f06352c3c:g:Vg8AAOSw~rpZU0cf>>. Acesso em: 11 de Julho 2017

HELENE, P. R. L., **Manual para Reparo, Reforço e Protensão de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

HUNKELER, F. **The resistivity of pore water solution-a decisive parameter of rebar corrosion and repair methods**. Construction and Building Materials, v. 10, n. 5, p. 381 - 389, 1996.

LENCIONI, J. W.; LIMA, M. G. de. **Análise da influência da espessura de cobrimento da armadura nas medidas de resistividade elétrica do concreto – I. Primeiros resultados**. BE2008 – Encontro Nacional de Betão Estrutural 2008 Guimarães – 5, 6, 7 de Novembro de 2008.

LENCIONI, J. W. **Estudos sobre resistividade elétrica superficial em concreto: análise e quantificação de parâmetros intervenientes nos ensaios**. Tese (Doutorado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, Brasil, 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo, Pini, 1997.

OLIVEIRA, T. M.; MARQUES, J. A. P.; BRUM, F. M.; POLISSENI, A. E. **Levantamento das Patologias das Áreas Internas das Edificações do Setor Administrativo da UFJF: estudo de caso**. Juiz de Fora, out. 2012. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2012/docs/1262.pdf>> . Acesso em: 09 de Julho 2017.

POLDER, R. B. **Test methods for on site measurement of resistivity of concrete – a RILEM TC – 154 technical recommendation**. Construction and Building Materials, v. 15, 2001, p. 125-131.

ROCHA, B. dos S. **Manifestações Patológicas e Avaliação de Estruturas de Concreto Armado.** Minas gerais, 2015. Disponível em:<
http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-9WWGLB/manifesta__es_patol_gicas_e_avalia__o_de_estruturas_de_concreto_armado.pdf?sequence=1> Acesso em: 09 de Julho 2017.

SAHUINCO M. H. C. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto.** São Paulo, 2011. Disponível em:<
http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-01112011-123905/publico/Dissertacao_Melquiades.pdf> Acesso em: 09 de Julho 2017.

SANTOS, L. **Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto.** Dissertação (Mestrado em estruturas e Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SOUZA, M. F. **Patologias Ocasionadas pela Umidade nas Edificações.** Minas Gerais, 2008. Disponível em:<
<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Patologias%20Ocasionadas%20Pela%20Umidade%20Nas.pdf>> Acesso em: 09 de Julho 2017.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios .** São Paulo,2007. (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Instituto de Pesquisas Tecnológicas – 1989).

TRINDADE, D. dos S. **Patologia em Estruturas de Concreto Armado.** Santa Maria/RS, 2015. Disponível em:<
http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_DIEGO%20DOS%20SANTOS%20DA%20TRINDADE.pdf> Acesso em: 09 de Julho 2017.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações.** Porto Alegre, Editora Sagra, 1991. 172p.