

Utilização de ensaios não destrutíveis para inspeção de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado

Oliveira, Kaiky Borges Lima¹; Borba Júnior, José Elde Fernandes²; Silva, David de Souza Tavares³; Coelho Junior, Reinan Silva⁴; Silva, Maykon Vieira⁵

^{1,2,4}Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Católica de Brasília

^{3,5}Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Católica de Brasília

¹kaikyborges18@gmail.com; ²jose.elde@hotmail.com;

³davidsouzataavares@gmail.com; ⁴reinan.scj@gmail.com;

⁵eng.maykonsilva@gmail.com

Resumo: Para manter-se o controle do estado de conservação das estruturas de concreto armado, faz-se necessário a utilização de ferramentas de controle e análise. Nesse contexto, é imprescindível manter uma manutenção adequada da estrutura para evitar sua deteriorização por meio do monitoramento constante e preventivo, que consiste em descobrir problemas em sua fase inicial e assim diminuir os custos de manutenção. Desta maneira, as técnicas de ensaio não destrutivos (END) mostram-se atrativos e eficazes por não alterarem as características da estrutura. Entre os ENDs, destacam-se: o potencial de corrosão, pacometria, esclerometria e profundidade de carbonatação. O presente artigo apresenta o caso de um prédio localizado na cidade satélite Águas Claras-DF, que sofreu com diversos tipos de manifestações patológicas. As técnicas de avaliação de ENDs foram aplicadas mostrando a real situação da estrutura.

Palavras-chave: Concreto, Ensaios não Destrutivos, Manifestação Patológica, END.

Abstract: In order to maintain control of the conservation status of reinforced concrete structures, it is necessary to use control and analysis tools. In this context, it is imperative to maintain a proper maintenance of the structure to avoid its deterioration through constant and preventive monitoring, which consists of discovering problems in its initial phase and thus decrease maintenance costs. In this way, non-destructive test techniques (NDT) are attractive and effective because they do not alter the characteristics of the structure. Among NDTs, the most important are: the potential for corrosion, pacometry, sclerometry and depth of carbonation. The present article presents the case of a building located in the satellite city Águas Claras-DF, which suffered from several types of pathological manifestations. The techniques of NDT evaluation were applied showing the real situation of the structure.

Keywords: Concrete, Non Destructive Testing, Pathological Manifestation, NDT.

1. Introdução

De acordo com Castro [1], a vida útil de uma estrutura depende de níveis adequados de manutenção. Segundo o autor, quando um problema estrutural é diagnosticado precocemente os custos em soluções corretivas e seus efeitos seriam menores do que quando a manutenção é negligenciada. A falta de fiscalização e planejamento são fatores que também contribuem de forma expressiva para a aparição desses fenômenos.

Para a formulação de um correto diagnóstico de manifestações patológicas é indispensável a realização de métodos avaliativos com o emprego de ensaios técnicos a fim de se obter dados sobre a qualidade e o estado de conservação de qualquer estrutura de concreto armado. Estes métodos de avaliação poderão constituir de ensaios destrutíveis (quando há alteração de propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais do elemento inspecionado) ou de ensaios não destrutíveis (quando o dano no elemento é imperceptível ou nulo).

A técnica de avaliação de estruturas por meio da utilização de ensaios não destrutivos (END) vem crescendo continuamente em todo o mundo, abrangendo diversos ensaios [2]. Estes métodos foram desenvolvidos com o intuito de monitoramento, avaliação e viabilização do estado de conservação da estrutura, sem precisar danificá-la, dado sua natureza menos invasiva.

Considerando os tipos de manifestações patológicas apresentadas nas edificações de Águas Claras, cidade satélite do Distrito Federal, este trabalho tem o objetivo realizar inspeção por meio de ENDs para avaliar e verificar o desempenho dos elementos estruturais, em relação a sua degradação.

2. Materiais e métodos

Para este trabalho foi selecionada a estrutura de um edifício abitacional que se encontrava em processo de deterioração devido ao abandono das frentes de trabalho que executavam a obra. A estrutura, ainda em fase de construção, ficou desassistida por um período de 7 anos, não sendo executado nenhuma intervenção ou manutenção durante este intervalo. A mesma encontra-se na cidade de Águas Claras – Brasília, apresenta uma estrutura composta de 18 pavimentos tipo, térreo e 2 subsolos destinados para garagem de veículos.

Para fins deste estudo, foram escolhidos 23 pontos para serem executados os ensaios, sendo: 8 pontos no segundo subsolo (6 pilares e 2 pontos no reservatório de água); 11 pontos no primeiro subsolo e 4 pontos no pavimento térreo.

2.1 Determinação do posicionamento das armaduras e espessura do cobrimento de concreto utilizando pacômetro (BS 1881: Part 204:1988)[3]

Pacometria é um END usado para determinar a quantidade de armadura e o cobrimento de concreto em peças de concreto armado. O ensaio permite estimar sua dimensão, cobrimento e orientação, o que pode ser útil na realização de vistorias em peças estruturais.

O ensaio consistiu em calibrar o equipamento longe de objetos metálicos para que não houvessem interferências na realização das leituras, em seguida posicionando-o junto a face de cada um dos elementos estruturais analisados de modo que, ao identificar a presença de estrutura metálica, evidenciada pela emissão de sinal sonoro, pudessem ser feitas as leituras de cobrimento, bitola e posição do eixo das barras.

O objetivo do procedimento adotado foi de determinar o posicionamento das armaduras a fim de permitir que houvesse um posterior contato nas mesmas para a realização do processo de avaliação de potencial eletroquímico nos casos onde havia constatação de corrosão. Do mesmo modo foram observados os valores da espessura de cobrimento do concreto para comparações com o teste de profundidade de carbonatação.

Para este ensaio foi utilizado um pacômetro eletrônico digital da marca Proceq que funciona por indução magnética segundo as orientações da norma BS 1881: Part 204:1988 [3].

2.2 Avaliação da dureza superficial do concreto pelo Esclerômetro (ABNT NBR 7584:2012)[4]

A fim de estimar a dureza superficial e a homogeneidade do concreto que compõe os elementos estruturais foram realizados ensaios utilizando esclerômetro de reflexão de Schmidt orientado pela norma ABNT NBR 7584:2012 [4].

A correta execução deste ensaio como o preparo da superfície em que irá ser ensaiada é fundamental para um correto diagnóstico. Este método consiste em impactar uma superfície de concreto de maneira padrão, com uma dada energia de impacto e, então, medir o rebote ou a reflexão da massa padrão do equipamento após o impacto no concreto.

A reflexão é registrada em uma escala de medida, gerando um valor numérico, que é chamado de índice esclerométrico ou índice de reflexão. O índice mensurado corresponde a dureza superficial da peça ensaiada e também serve como controle de homogeneidade do concreto disposto no elemento. Em cada área analisada devem ser feitos 16 impactos, não sendo permitido realizar mais de um impacto por ponto. Cada ponto deve estar distanciado em no mínimo 30mm, de eixo à eixo, dos pontos adjacentes. É tirada uma média aritmética dos 16 impactos realizados e este valor será considerado como o índice esclerométrico da área analisada. Em seguida, deve ser desconsiderado todo valor que esteja afastado em mais de 10% da média e calcular uma nova média. O índice esclerométrico final deve conter ao menos 5 valores válidos dentre os 16 obtidos.

Na primeira etapa é necessário regularizar a superfície a ser analisada. Para isso, foi utilizada uma lixadeira e uma rocha de carborundum. Em seguida, delimitou-se a área para execução do ensaio como exibido na Figura 1. Por fim, como ilustrado na Figura , a execução dos impactos com martelo de Schmidt.

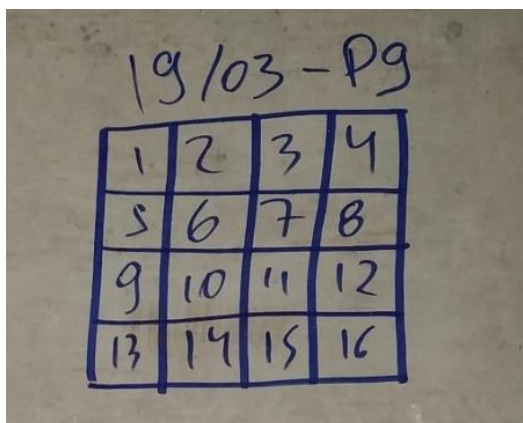


Figura 1: Delimitação da Área para END de Esclerometria.



Figura 2: Execução do END de Esclerometria.

2.3 Determinação da profundidade de carbonatação utilizando solução fenolftaleína (LNEC E 391 [5], RILEM CPC 18 [6])

O procedimento de determinação da profundidade da frente de carbonatação teve como objetivo indicar se o concreto presente na estrutura ainda oferecia condições de proteção química às armaduras, mantendo as mesmas em estado de passivação, imunes ao processo corrosivo. Este fato ocorre quando o concreto se apresenta alcalino, com um pH entre 12,6 e 13,5. Ao se carbonatar, este concreto tem seu pH reduzido para valores abaixo de 9,0.

Antes de iniciar o procedimento foi efetuado o mapeamento das armaduras presentes na estrutura utilizando pacômetro, com o intuito de realizar um afrontamento da profundidade de carbonatação e o respectivo cobrimento de concreto da peça ensaiada. Desta forma, os furos realizados foram conduzidos para regiões com a presença da armadura de aço.

Os furos para exposição da camada de concreto a ser inspecionada foram realizados com furadeira utilizando broca nº 10. Após a perfuração e exposição do interior da estrutura, a abertura passou por um processo de limpeza com o intuito de evitar qualquer contaminação dos resultados. O procedimento de verificação foi realizado seguindo os modelos das normas LNEC E391 [5] e RILEM CPC 18 [6].

Posterior ao processo de limpeza, as perfurações receberam a aspersão da solução de fenolftaleína, a reação fotoquímica foi observada e registrada. A Figura 3 e Figura 4 relatam os procedimentos realizados para este devido ensaio.

Desta maneira, foi utilizado como ensaio para determinação da profundidade de carbonatação no concreto a solução de 1% de fenolftaleína, pois esta mantém-se incolor em meios com pH menos que 8,5 (concreto carbonatado) e torna-se violeta em ambientes com pH maior que 9,5 (concreto sem carbonatação).



Figura 3: Aspersão de solução fenolftaleína

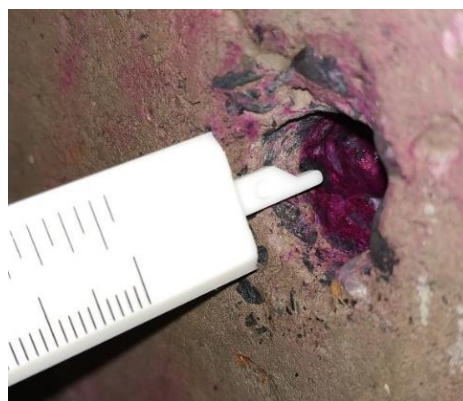


Figura 4: Medição da profundidade de carbonatação utilizando um paquímetro

2.4 Avaliação do potencial de corrosão utilizando Eletrodo de Referência (ASTM C 876) [7]

O ensaio de potencial de corrosão consiste em realizar uma análise eletroquímica das barras de aço presentes na estrutura de concreto armado através da diferença de voltagem entre um eletrodo de referência formado por uma pilha de cobre/sulfato de cobre em contato com a superfície do concreto.

Para a formação do eletrodo de referência foi utilizado um cilindro transparente onde continha uma barra de cobre no eixo central com diâmetro de 10mm submerso em uma solução saturada de sulfato de cobre (CuSO_4) dissolvido em água destilada, com quantidade suficiente para a barra de cobre estar sempre coberta pela mistura.

A solução é passada pela superfície porosa do equipamento e entra em contato com a superfície da estrutura, previamente umedecido para diminuir a resistência do concreto ao ensaio. Juntamente a isso é utilizado um voltímetro de alta impedância ligado à barra de cobre e ao aço da estrutura, formando assim um circuito entre o equipamento e a estrutura. Esta conexão pode ser observada na Figura 5:

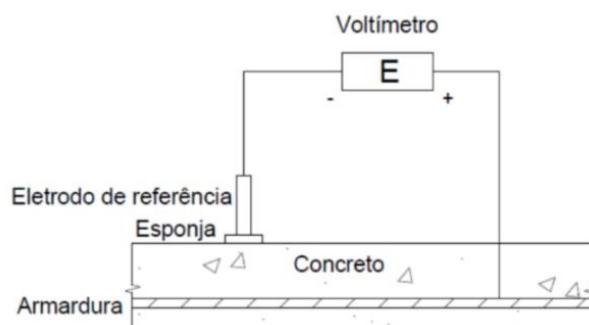


Figura 5: Conexão realizada entre o aparelho de potencial de corrosão e a estrutura.

Como mostra a Figura 5, o voltímetro conecta o aço com o eletrodo de referência de forma que o aço esteja no terminal positivo do voltímetro, sendo capaz de registrar a diferença de potencial no sistema em corrente contínua.

Essa diferença de potencial eletroquímico gerado pela meia célula e registrada através da leitura no voltímetro de alta impedância é utilizada para indicar a probabilidade de corrosão na armadura segundo os critérios presentes na norma ASTM C 876 [7]. A Tabela 1 apresenta os critérios da ASTM para corrosão.

Tabela 1: Critérios da ASTM para corrosão do aço no concreto (ASTM C 876) [7].

Potencial Eletroquímico Medido (mV)	Probabilidade de Corrosão	Potencial Eletroquímico Medido (mV)	Probabilidade de Corrosão
Mais negativo que -350	Maior que 95%	Mais negativo que -350	Maior que 95%
Entre -200 e -350	Incerta	Entre -200 e -350	Incerta
Mais positivo que -200	Menor que 5%	Mais positivo que -200	Menor que 5%

O eletrodo de referência foi movido sobre a superfície do concreto com o objetivo de desenvolver um mapa de potencial que mostra os possíveis locais de corrosão ativa na estrutura, identificando assim as zonas que necessitam de reparos.

Para a correta avaliação da estrutura é necessário que haja a redução da resistividade elétrica do concreto a fim de melhorar os contatos eletroquímicos entre o eletrodo de referência e a superfície a ser analisada. as estruturas foram cobertas com tecido úmido durante um prazo de 24 horas para diminuir a resistividade do concreto e facilitar as leituras. Na Figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é possível observar este processo.

Após a etapa de umedecimento é necessário que haja um contato direto com a armadura inserida de modo a produzir um circuito e possibilitar as leituras dos diferenciais de potenciais com o voltímetro, como ilustrado na Figura .



Figura 6: Umedecimento da Estrutura de Concreto



Figura 7: END de Potência de Corrosão

3. Resultados

Após a realização do END de pacometria, foi possível verificar uma não homogeneidade nos elementos, uma vez que o desvio padrão alto aponta que os dados se encontram mais distantes da média. Vale salientar que os resultados deste ensaio representam valores de resistência superficial do concreto, sendo utilizados neste trabalho apenas como forma de aferir a disparidade dos elementos analisados. Os resultados do END de esclerometria estão evidenciados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado ensaio de esclerometria.

ELEMENTO ESTRUTURAL	LOCAL	DUREZA SUPERFICIAL (Mpa)
RESERV. 1	2º SUBSOLO	31,00
RESERV. 2	2º SUBSOLO	42,75
PILAR 09	2º SUBSOLO	36,50
PILAR 13	2º SUBSOLO	41,30
PILAR 30	2º SUBSOLO	37,85
PILAR 50	2º SUBSOLO	43,10
PILAR 53	2º SUBSOLO	41,20
PILAR 79	2º SUBSOLO	42,30
PILAR 06	1º SUBSOLO	42,35
PILAR 09	1º SUBSOLO	28,20
PILAR 24	1º SUBSOLO	35,60
PILAR 29	1º SUBSOLO	34,40
PILAR 30	1º SUBSOLO	33,10
PILAR 47	1º SUBSOLO	36,50
PILAR 50	1º SUBSOLO	35,20
PILAR 53	1º SUBSOLO	36,10
PILAR 65	1º SUBSOLO	34,00
PILAR 77	1º SUBSOLO	35,15
PILAR 82	1º SUBSOLO	34,90
PILAR 01	TÉRREO	34,40
PILAR 49	TÉRREO	37,80
PILAR 50	TÉRREO	46,20
PILAR 51	TÉRREO	40,55
MÉDIA = 37,41		
DESVIO PADRÃO = 4,39		

Com a inspeção utilizando a técnica de pacometria e verificação da frente de carbonatação, foi possível gerar a

ELEMENTO ESTRUTURAL	LOCAL	PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)	COBRIMENTO DO AÇO (mm)
RESERV. 1	2º SUBSOLO	14	12
RESERV. 2	2º SUBSOLO	15	16
PILAR 09	2º SUBSOLO	11	22
PILAR 13	2º SUBSOLO	10	16
PILAR 30	2º SUBSOLO	13	23
PILAR 50	2º SUBSOLO	12	20
PILAR 53	2º SUBSOLO	11	23
PILAR 79	2º SUBSOLO	8	22

elucidando os resultados obtidos a partir do cruzamento dos dados obtidos nestes ensaios:

Tabela 3: Profundidade de Carbonatação x Cobrimento do Aço.

ELEMENTO ESTRUTURAL	LOCAL	PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)	COBRIMENTO DO AÇO (mm)
RESERV. 1	2º SUBSOLO	14	12
RESERV. 2	2º SUBSOLO	15	16
PILAR 09	2º SUBSOLO	11	22
PILAR 13	2º SUBSOLO	10	16
PILAR 30	2º SUBSOLO	13	23
PILAR 50	2º SUBSOLO	12	20
PILAR 53	2º SUBSOLO	11	23
PILAR 79	2º SUBSOLO	8	22
PILAR 06	1º SUBSOLO	10	24
PILAR 09	1º SUBSOLO	13	17
PILAR 24	1º SUBSOLO	9	26
PILAR 29	1º SUBSOLO	11	24
PILAR 30	1º SUBSOLO	12	18
PILAR 47	1º SUBSOLO	8	23
PILAR 50	1º SUBSOLO	10	26
PILAR 53	1º SUBSOLO	10	18
PILAR 65	1º SUBSOLO	14	30
PILAR 77	1º SUBSOLO	13	32
PILAR 82	1º SUBSOLO	13	25
PILAR 01	TÉRREO	11	16
PILAR 49	TÉRREO	15	19
PILAR 50	TÉRREO	8	19
PILAR 51	TÉRREO	8	29

É possível notar que o pilar com maior frente de carbonatação apresentou 15 mm de profundidade com 16 mm de cobrimento do aço, aferido com pacômetro. O pilar com menor cobrimento de aço apresentou 12mm de profundidade e a frente de carbonatação aferida foi de 14mm.

Nos pontos onde foram realizados o procedimento de teste de verificação de potencial de corrosão pode-se notar que as zonas no concreto onde há uma alta probabilidade de corrosão é na parte inferior dos pilares, local onde ocorre maior contato com umidade, fator que favorece ao desenvolvimento do processo corrosivo.

As áreas indicadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** exibem onde ocorre a alta probabilidade de corrosão da armadura. Na face da lateral externa do reservatório presente no 2º Subsolo observou-se o desenvolvimento de zonas de corrosão em pontos aleatórios.

Devido a presença de umidade no concreto do reservatório e o baixo cobrimento nominal das barras de aço, além da exposição da armadura em alguns pontos, há um favorecimento de um microclima viciado propício ao desenvolvimento de corrosão.

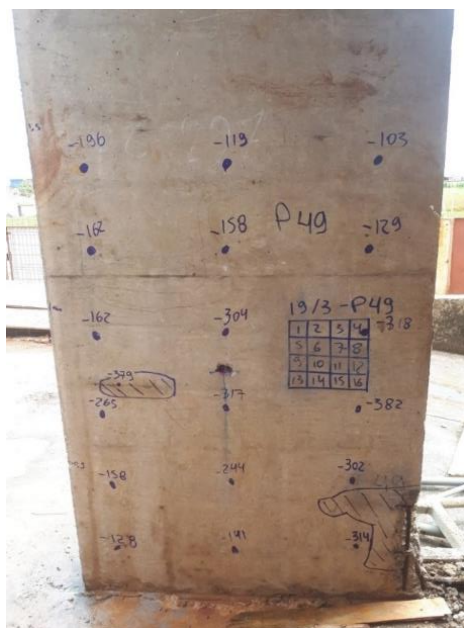


Figura 1 – Pontos de alta probabilidade de corrosão no pilar P49



Figura 2 – Pontos de alta probabilidade de corrosão no Reservatório

A partir da utilização de ensaios não destrutivos foi possível realizar inspeções de manifestações patológicas adversas nas estruturas de concreto armado presentes na edificação em processo de reabilitação, visto que a mesma encontrava-se em fase de retomada de obra após passar por um longo período abandonada.

Os métodos se apresentaram eficientes, pois contribuíram para a formulação e enriquecimento do diagnóstico da estrutura analisada. Contudo, em sua maioria, por apresentarem resultados qualitativos, é necessário a experiência do operador a fim da correta interpretação dos dados coletados.

Foi recomendado a realização de testes específicos com o objetivo de estimar se realmente as propriedades mecânicas dos elementos que apresentaram durezas superficiais fora dos limites considerados pelo desvio padrão foram alteradas e, em caso de confirmação, deverá proceder medidas de intervenções corretivas para estas estruturas.

Consequentemente, foi recomendado intervenções corretivas para os elementos que apresentaram uma diferença entre a frente de carbonatação e o cobrimento nominal das barras menores que 10mm ou que apresentavam pontos de alta probabilidade de corrosão.

4. Referências

- [1] CASTRO, Eliane Kraus de. (1994) *Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado*. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Distrito Federal.

- [2] FIGUEIREDO, E. P.; ANDRADE, D. S. (2014) *Estimativa da resistência à compressão do concreto por meio de ensaios não destrutivos no estádio Maracanã*. Revista Concreto e Construções. São Paulo. ISSN 1809-7197.
- [3] BRITISH STANDART 1881. PART 204 (1988) Testing Concrete – Recommendations on the use of electromagnetic covermeters.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7584/2012: (2012) Concreto Endurecido – Avaliação da Dureza Superficial pelo Esclerômetro de Reflexão. Rio de Janeiro: ABNT.
- [5] Especificação LNEC E 391 (1993) Betões. Determinação da resistência à carbonatação. LNEC, 1 p
- [6] RILEM RECOMMENDATIONS. CPC – 18: Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth.
- [7] American Society for Testing and Materials. C 879 – 91 (1999) Standart Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. ASTM.