AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UMA EDIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA/ES

R. A. TEIXEIRA
Engenheira Sanitarista e Ambiental
UFES
Espírito Santo; Brasil
roberta.arleu@gmail.com

D. M. DIAS
Físico / Mestrando em Engenharia Civil
UFES
Espírito Santo; Brasil
dainerdias@gmail.com

D. V. NEPOMUCENO
Engenheira Civil
UFES
Espírito Santo; Brasil
daiana.valt@gmail.com

I. S. C. GUIDI
Arquiteta e Urbanista
UFES
Espírito Santo; Brasil
scgingrid@gmail.com

M. K. DEGEN
Engenheiro Civil
UFES
Espírito Santo; Brasil
maxdegen@hotmail.com

G. L. VIEIRA
Engenheira Civil
UFES
Espírito Santo; Brasil
geilma.vieira@gmail.com

RESUMO

A falta de um bom planejamento prévio de construção, somado a ausência de plano de inspeção e de manutenção, potencializam o aparecimento de manifestações patológicas em uma edificação. Estes fenômenos, quando constatados, muitas vezes demonstram um estado avançado de deterioração da estrutura, gerando altos custos para sua recuperação. O presente trabalho consistiu na avaliação das manifestações patológicas de uma edificação localizada em uma Institutição de Ensino Superior do município de Vitória/Espírito Santo, com o uso de ensaios não-destrutivos. Para tanto, foi realizado um levantamento inicial das manifestações patológicas presentes na edificação, identificando-se trincas e fissuras nos seus diversos pilares, além de armaduras expostas. Assim, partiu-se para a realização de ensaios não-destrutivos visando identificar as possíveis causas do problema e confirmar o comprometimento da estrutura avaliada. Foram utilizados ensaios colorimétricos com fenolftaleína e nitrato de prata (para verificar a presença de agentes causadores de corrosão das armaduras), ensaios de dureza superficial/esclerometria e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (para inferir sobre a homogeneidade e qualidade dos pilares de concreto), além da avaliação do potencial de corrosão. Os resultados observados possibilitaram a confirmação da ocorrência do fenômeno de corrosão das armaduras nas estruturas de concreto, sendo esta, induzida por íons cloreto, causada principalmente pela localização da edificação (próxima a manguezal), e agravada pela ausência de manutenção da estrutura. Por fim, conclui-se sobre a importância do tripé projeto/execução/manutenção como etapas essenciais para a garantia do desempenho das edificações de concreto.
Palavras-chave: Concreto. Manifestações Patológicas. Ensaios não-destrutivos.

ABSTRACT

The lack of a good pre-planning of construction, plus the lack of inspection and maintenance plan, potentiate the appearance of pathological manifestations in a building. These phenomena, when found, often demonstrate an advanced state of deterioration of the structure, generating high costs for recovery. The present work consisted in the evaluation of the pathological manifestations of a building located in a Higher Education Institution of the city of Vitória / Espírito Santo, with the use of non-destructive tests. Therefore, it performed an initial survey of the pathological manifestations present in the building, identifying cracks in its various pillars, and exposed reinforcement. Thus, non-destructive tests were carried out in order to identify the possible causes of the problem and confirm the impairment of the evaluated structure. Colorimetric tests were used with phenolphthalein and silver nitrate (to verify the presence of corrosion agents), surface hardness / sclerometry tests and ultrasonic wave propagation velocity (to infer the homogeneity and quality of the concrete pillars) , besides the evaluation of the potential of corrosion. The results confirmed the

occurrence of the corrosion phenomenon of reinforcement in concrete structures, which was induced by chloride ions, caused mainly by the location of the building (near the mangrove), and aggravated by the lack of maintenance of the structure. Finally, it is concluded on the importance of the tripod: design / execution / maintenance as essential steps to guarantee the performance of concrete constructions.
Keywords: Concrete. Pathological manifestations. Non-destructive tests.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto são projetadas e executadas para manter condições mínimas de segurança, estabilidade e funcionamento por uma vida útil de projeto de no mínimo 50 anos (ABNT, 2013). Porém, para garantir o desempenho desejado, são necessárias ações de monitoramento, conservação e manutenção das estruturas, uma vez que estas podem estar sujeitas à ambientes ou condições deletérias, como intempéries, poluição atmosférica, condições de uso (reformas, uso de produtos deletérios), dentre outras (ANDRADE, 2005).

Apesar de imprescindíveis, estas ações preventivas são muitas vezes deixadas de lado, causando diversos problemas nas edificações. Dentre estes, a corrosão das armaduras é a principal manifestação patológica em estruturas de concreto armado, com consequência direta para a estabilidade estrutural. Sua causa, ocorre pela perda da camada passivadora do concreto armado, com ação de agentes agressivos, como cloretos, ou por carbonatação. Apesar da causa ser externa, um bom programa de manutenção da estrutura e o atendimento aos requisitos de projeto, como tipo de concreto e cobrimento adequado, são capazes de manter a integridade da camada passivadora do concreto, contribuindo para evitar este problema.

Ainda, muitos outros fatores têm levado ao surgimento de manifestações patológicas precoces nas estrututas de concreto e com elevado custo de reparação, como falhas nos projetos, uso de dosagens incorretas, processo inadequado de mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura e descimbramento, além da utilização incorreta das estruturas de concreto (FIGUEIREDO, 2005). Estes fatores evidenciam a importância das ações de monitoramento, conservação e manutenção, para a identificação e correção do problema o quanto antes, evitando possíveis danos, além da oneração dos gastos para recuperação das estruturas.

Dentre as tecnologias utilizadas para identificação das manifestações patológicas, os ensaios não-destrutivos são ferramentas que auxiliam na identificação de anomalias sem causar danos à edificação (como extração de corpos de prova para ensaios destrutivos, por exemplo), além de conseguirem proceder com a inspeção sem interromper os serviços executados no local (GRABOWSKI, PADARATZ e PINTO, 2008).

A partir dos ensaios não-destrutivos é possível monitorar os elementos estruturais e definir parâmetros para aumentar ou manter sua vida útil, uma vez que os ensaios podem ser feitos *in loco,* ao longo do funcionamento da edificação, possibilitando um monitoramento e acompanhamento da estrutura, e permitindo um tratamento/ recuperação mais econômico e fácil (LORENZI et.al, 2009).

Os ensaios não-destrutivos são uma alternativa de grande importância para prédios antigos, evitando a retirada de corpos de prova de sua estrutura, e contribuindo para a conservação da mesma. Desta forma, este trabalho tem como objetivo a identificação de manifestações patológicas em uma edificação de ensino superior do estado do Espírito Santo, com idade superior a 40 anos, utilizando ensaios não-destrutivos para confirmação das principais causas de sua deterioração.

2. ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS

Ensaios não-destrutivos (END) têm como objetivo determinar a qualidade e integridade de materiais, componentes ou montagens sem afetar a capacidade de executar as funções pretendidas (HELAL et al., 2015).

Mehta e Monteiro (2008) descrevem que “ensaios não destrutivos podem ser utilizados para localizar fissuras, falhas, imperfeições e danos em meios heterogêneos como o concreto. Também sendo úteis para

detectar estruturas de concreto que sejam suspeitas de estar significativamente abaixo do nível de resistência exigida pelo projeto, ou o nível de durabilidade.

Dentre os principais END estão os ensaios colorimétricos (com fenolftaleína e nitrato de prata), ensaio de esclerometria, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e de potencial de corrosão. Estes ensaios podem ser realizados em conjunto, para avaliação mais precisa da situação da estrutura, possibilitando uma aproximação da resistência à compressão da mesma, além de informações sobre a densidade do concreto, e assim, sobre sua integridade.

2.1 Ensaio colorimétrico por aspersão de fenolftaleína

O Ensaio colorimétrico por aspersão de fenolftaleína é utilizado para identificação da presença de carbonatação no concreto. A carbonatação é uma das causas da corrosão das armaduras, que, como dito anteriormente, é a principal responsável de deterioração precoce do concreto armado. O ensaio para medição da profundidade de carbonatação do concreto consiste em submeter uma superfície de concreto a um indicador químico a base de fenolftaleína ou timolftaleína, e verificar a mudança de coloração do concreto. Uma coloração rosa/violeta mostra um concreto alcalino, de pH normal (13 ou 12), já uma coloração incolor, demonstra a atuação da frente de carbonatação, resultando num pH inferior a 9 (SAHUINCO, 2011).

2.2 Ensaio colorimétrico por aspersão de nitrato de prata

O Ensaio colorimétrico por aspersão de nitrato de prata é indicado para verificar a penetração de íons cloreto (Cl^-) na estrutura de concreto armado, e assim, identificar possível causa de corrosão das armaduras. Ele é de fácil aplicação, baixo custo e permite avaliações *in loco*, por isso é amplamente utilizado na área de Patologia das Construções (FRANÇA, 2011).

O método consiste em aspergir sobre a superfície a ser analisada, uma solução aquosa de $AgNO_3$ (nitrato de prata – 0,10N). Quando a solução de nitrato de prata é aspergida na superfície do concreto, ocorre uma reação fotoquímica. Onde há presença de cloretos livres ocorre a formação de um precipitado branco de cloreto de prata (REAL et al, 2015).

2.3 Ensaio de Esclerometria

A esclerometria é uma técnica simples, rápida e não destrutiva para o monitoramento da resistência do concreto, que correlaciona uma medida da dureza superficial com a resistência do concreto à compressão (PALHARES et al., 2015), ou seja, os métodos não destrutivos de dureza superficial são procedimentos não invasivos que investigam as características de resistência do material (HELAL et al., 2015).

O método de avaliação de dureza superficial utilizando o esclerômetro de Schmidt consiste em impactar uma superfície com uma dada energia de impacto. É baseado no princípio de que a reflexão de uma massa elástica, lançada contra a superfície, depende da dureza dessa superfície (SAMANIEGO, 2014).

Os equipamentos basicamente têm uma mola principal, martelo e êmbolo. Ao pressionar o êmbolo sobre a superfície de concreto a mola se estende, a trava é liberada e o martelo se move em direção à superfície do concreto ocasionando um impacto sobre o êmbolo. Após o choque, o recuo da massa controlada pela mola, também chamado de reflexão ou rebote, gera um valor numérico chamado de índice esclerométrico ou de reflexão (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

As correlações entre o índice esclerométrico e as propriedades do concreto são determinadas empiricamente ou experimentalmente, sendo que estimativas da resistência à compressão poderão ser obtidas através de análise de tabelas ou curvas fornecidas pelo fabricante do aparelho (ABNT, 2012).

No Brasil, o ensaio de esclerometria é normatizado pela NBR 7584 (ABNT, 2012).

2.4 Ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas

O ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas tem como como principais aplicações: verificação da homogeneidade do concreto; detecção de eventuais falhas internas de concretagem, profundidade de fissuras e outras imperfeições; e monitoramento de variações no concreto, ao longo do tempo, decorrentes de agressividade do meio (ataque químico) principalmente pela ação de sulfatos.

O ensaio consiste de um gerador e um transmissor (transdutor piezoelétrico) para a produção de um pulso de onda no concreto e de um receptor para detectar a chegada do pulso e medir com exatidão o tempo de trânsito da onda pelo concreto. O tempo de trânsito de onda dá indícios da qualidade do concreto. O ensaio é normatizado pela NBR 8802 (ABNT, 2013), e podem ser empregadas as transmissões direta, indireta e semidireta entre os transdutores.

O transdutor piezoelétrico fornece, com o ensaio, o tempo gasto para as ondas emitidas percorrerem a estrutura avaliada, com o valor da distância percorrida, medido pela distância entre as extremidades do transdutor, pode-se calcular a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, e assim, inferir sobre a uniformidade do concreto (aumento de poros).

O ensaio possibilita ainda estimar a resistência à compressão do concreto (quando correlacionada previamente), além de ser utilziado para investigar danos provocados pelo fogo, congelamento e agentes químicos, dentro da sua limitação (CHUNG; LAW, 1983; EVANGELISTA, 2002; SELLECK et al., 1998).

2.5 Ensaio de Potencial de Corrosão

Também conhecido como potencial da semi-pilha é um método eletroquímico. Esse experimento mede a| facilidade da transferência de carga elétrica entre o aço e a solução contida nos poros do concreto, em virtude da diferença de potencial. Fornece dados sobre as zonas eletroquimicamente mais ativas, com maior disposição à corrosão das peças de concreto armado aparentemente sãs.

O potencial de corrosão no aço do concreto armado pode ser medido como a diferença de voltagem entre o aço e um eletrodo de referência em contato com a superfície do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Um procedimento de ensaio pode ser encontrado na ASTM C 876 (ASTM, 2015), onde é estipulado alguns valores para corrosão do aço no concreto, conforme o Quadro 2 a seguir

Quadro 1 – Valores estipulados para avaliação de corrosão em estruturas de concreto armado (ASTM C 876)

Faixa de potencial (mV)	Probabilidade de existência de corrosão
Mais positivo que -200	Baixa, inferior a 10%
Entre -200 a -350mV	Incerta
Mais negativo que -350	Alta, superior a 90%

Fonte: Adaptado de ASTM (2015).

3 METODOLOGIA

O método empregado na realização desta pesquisa foi o estudo de caso. Primeiramente, a fim de identificar as manifestações patológicas presentes na edificação avaliada, foi realizada uma vistoria, com registro fotográfico das principais anomalias verificadas. Após a vistoria, partiu-se para uma avaliação geral, das patologias verificadas, e a realização de ensaios não-destrutivos para confirmação das principais causas.

3.1 Caracterização da edificação

A edificação foco do estudo é pertencente a uma Instituição de Ensino Superior do Estado do Espírito Santo (Figura 1) e foi escolhida pelo tempo de funcionamento (mais de 40 anos), apresentando problemas de desempenho, verificados junto aos usuários. Ainda, é importante ressaltar, que, devido a estes problemas, a edificação não está sendo totalmente utilizada, evidenciando a importância de um diagnóstico de sua situação, e realização do Plano de Manutenção da estrutura.

Figura 1 – Local estudado



Fonte: GOOGLE EARTH (2017).

3.2 Ensaios realizados

Os ensaios não-destrutivos realizados foram: ensaio colorimétrico com fenolftaleína (para verificação de carbonatação) e com nitrato de prata (para detecção de cloretos), ensaio da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (NBR 8802:2013), ensaio de esclerometria (NBR 7584:2012) e ensaio de potencial de corrosão (ASTM c876). Os equipamentos utilizados nos ensaios estavam de acordo com o estabelecido pelas referidas normas, calibrados, e foram cedidos pela própria instituição onde o trabalho foi realizado.

4 RESULTADOS

Após a avaliação visual realizada em vistoria à edificação, foi identificado que muitos dos pilares e vigas da edificação apresentavam indícios de corrosão das armaduras, uma vez que a armadura se encontrava exposta, com coloração semelhante à “ferrugem”, além de apresentarem fissurações (Figuras 2 e 3).

Figura 2 – Indício de corrosão das armaduras



Fonte: Acervo pessoal (2017).

Figura 31 – Indício de corrosão das armaduras



Fonte: Acervo pessoal (2017).

Desta forma, para confirmação desta hipótese, partiu-se para a realização de ensaios não-destrutivos visando confirmar a ocorrência de corrosão nos pontos que apresentavam manifestação desta patologia (Ensaio de Potencial de Corrosão), além de ensaios para identificar os possíveis fatores desencadeadores da corrosão (ataque por íons cloreto ou carbonatação) nas estruturas selecionadas. Foram ensaiados no total, 16 pilares. Após os ensaios, realizou-se uma análise comparativa da resistência dos pilares da edificação, com os métodos de esclerometria e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.

Os resultados dos testes são mostrados a seguir.

4.2. Ensaio de Potencial de corrosão

O ensaio de potencial de corrosão foi realizado nas estruturas que apresentavam armadura exposta, com indícios de corrosão, e que possibilitavam a adesão do eletrodo na armadura, para realização do ensaio (Figura 4).

Figura 4 – Ensaio de Potencial de corrosão



Fonte: Acervo pessoal (2017).

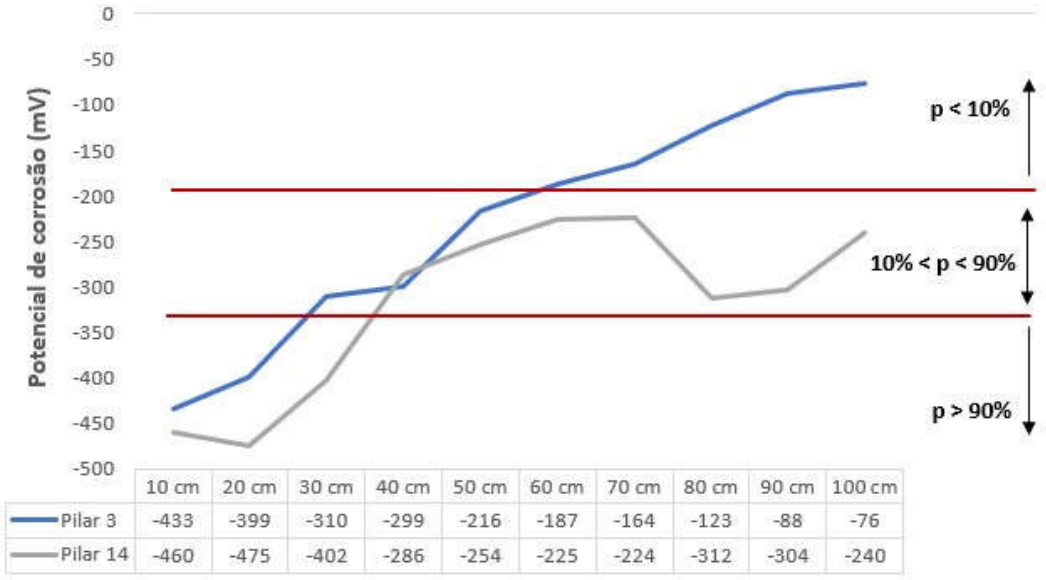
Os resultados do potencial de corrosão para os pilares avaliados, a uma distância de 10 cm a 100 cm da armadura exposta, são mostrados na Tabela 1 e na Figura 5.

Tabela 1 – Resultados do ensaio de Potencial de Corrosão nos pilares avaliados

Distância da armadura exposta	Potencial de corrosão (mV)	
	Pilar 3	Pilar 14
10 cm	-433	- 460
20 cm	-399	-475
30 cm	-310	-402
40 cm	-299	-286
50 cm	-216	-254
60 cm	-187	-225
70 cm	-164	-224
80 cm	-123	-312
90 cm	-88	-304
100 cm	-76	-240

Fonte: Acervo pessoal (2017).

Figura 5 – Gráfico do Potencial de Corrosão das estruturas avaliadas



	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	90 cm	100 cm
Pilar 3	-433	-399	-310	-299	-216	-187	-164	-123	-88	-76
Pilar 14	-460	-475	-402	-286	-254	-225	-224	-312	-304	-240

Fonte: Acervo pessoal (2017).

A partir dos resultados apresentados, pode-se verificar que, de acordo com o ensaio realizado no Pilar 3 (Figura 6), a probabilidade de corrosão das armaduras a uma distância de 20cm do ponto em que a corrosão é visível é de 90% (potencial de corrosão < -350mV), entre 20 e 50 cm a probabilidade é incerta (potencial de corrosão entre -200 e -350mV) e para distâncias maiores a probabilidade e menor do que 10% (potencial de corrosão < -200mV). Tratando do Pilar 14 (Figura 7), tem-se que até 30cm afastado do ponto visível de corrosão a probabilidade é maior que 90%, e para distancias maiores a probabilidade é incerta.

Figura 6 – Pilar 3



Fonte: Acervo pessoal (2017).

Figura 7 – Pilar avaliado



Fonte: Acervo pessoal (2017).

Ressalta-se a espessura do cobrimento no pilar avaliado era inferior a 25 mm, que é o estipulado na NBR 6118/2014, para vigas e pilares de concreto armado, com classe de agressividade I.

4.3 Ensaio colorimétrico com Fenolftaleína

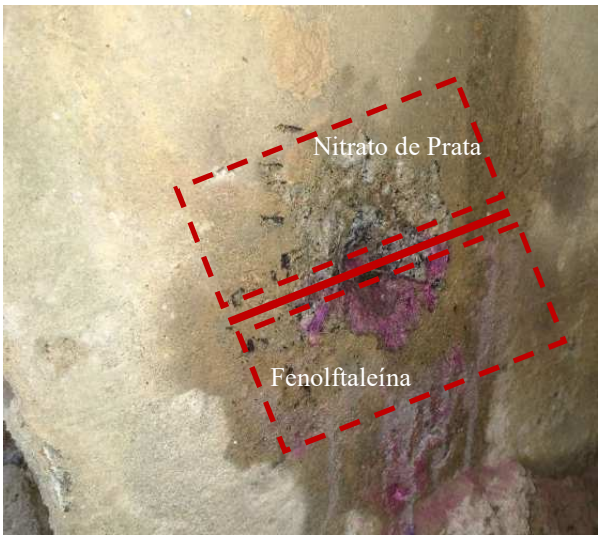
O ensaio colorimétrico com fenolftaleína teve como objetivo determinar a presença de carbonatação na estrutura, e verificar se esta é um dos agentes causadores da corrosão nas estruturas avaliadas. O ensaio foi realizado no pilar 17, onde procedeu-se uma pequena fratura no pilar, de forma a se alcançar a armadura, com o auxílio de uma machadinha. Após este procedimento, fez-se a aspersão da solução de fenolftaleína de forma a verificar o pH. Como resultado, teve-se um pH básico, típico do concreto, sendo ausente a carbonatação (Figura 9). Ressalta-se que o pilar 17, é um pilar de fundação, e estava localizado em um local protegido de intempéries, mas em contato com o solo, possivelmente contaminado com cloretos e propício à difusão destes íons para o concreto.

Figura 8 – Pilar 17



Fonte: Acervo pessoal (2017).

Figura 9 – Aplicação de fenolftaleína e nitrato de prata nas áreas indicadas



Fonte: Acervo pessoal (2017).

4.4 Ensaio colorimétrico com Nitrato de Prata

Para a execução do ensaio de nitrato de prata foram utilizados 2 pilares, e em cada um deles uma técnica foi realizada.

No primeiro pilar, partiu-se para a aspersão do nitrato de prata sobre a superfície com indício de corrosão (Pilar 2). Após 30 minutos, realizou-se uma avaliação visual, na qual foi identificada a presença de cloretos (Figura 10), tendo em vista que a área avaliada apresentou cor acinzentada.

Figura 10 - Realização do ensaio colorimétrico para determinação de cloretos



Fonte: *Acervo Pessoal (2017).*

O mesmo foi verificado com o segundo método, que foi executado da mesma forma que o ensaio colorimétrico com fenolftaleína, inclusive no mesmo pilar, porém em regiões contrárias (Figura 13).
Desta forma, pode-se verificar que a corrosão apresentada no Pilar 2 foi provocada por íons cloreto, uma vez que foi verificado a presença dos mesmos.

Infere-se assim, que a corrosão se deve principalmente a ausência do cobrimento mínimo definido pela NBR 6118 (ABNT, 2015), correspondente a 40 mm para regiões com classe de agressividade ambiental iii. Além disso, outros fatores como a impermeabilização insuficiente, a falta de manutenção, e à idade da edificação, também contribuem para o aparecimento dos problemas verificados no concreto, como fissuras e corrosão das armaduras.

4.5 Esclerometria

Para avaliação da resistência *in situ* das estruturas de concreto armado, foi utilizado o equipamento de ensaio não destrutivo, denominado esclerômetro de reflexão, conforme descrito na seção de metodologia deste trabalho.

Com os resultados do teste, foram calculados os índices esclerométricos utilizando 16 pontos em cada pilar avaliado. A partir da metodologia citada na NBR 7584 (ABNT, 2012), foi possível determinar a resistência aproximada em cada elemento, os resultados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de esclerometria

Pilar / Pontos	Índice Esclerométrico																				Resistência Aproximada (MPa)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Média	Média+10%	Média-10%	Média corrigida	
1	30,0	30,0	32,0	32,0	32,5	31,0	27,0	28,0	27,5	32,0	28,0	29,0	33,0	33,0	34,0	32,5	30,7	33,8	27,6	31,0	24
2	41,0	38,0	40,0	40,0	42,0	41,0	32,0	40,0	40,0	42,0	40,0	34,0	48,0	44,0	40,0	48,0	40,6	44,7	36,6	40,7	42
3	38,0	42,0	43,0	42,0	44,0	41,0	42,0	49,0	54,0	41,0	50,0	42,0	49,0	36,0	34,0	41,0	43,0	47,3	38,7	42,0	44
4	50,0	46,0	42,0	43,0	45,0	38,0	42,0	38,0	42,0	40,0	36,0	41,0	36,0	40,0	46,0	40,0	41,6	45,7	37,4	41,0	42
5	43,0	47,0	40,0	42,0	41,0	42,0	41,0	38,0	50,0	42,0	38,0	40,0	52,0	41,0	47,0	42,0	42,9	47,2	38,6	42,3	44
6	40,0	34,5	45,0	52,0	40,0	44,0	29,0	46,0	52,0	45,0	43,0	45,0	42,0	41,0	38,0	43,0	42,5	46,7	38,2	43,1	46
7	45,0	44,0	48,0	44,0	46,0	45,0	44,0	46,0	48,0	48,0	46,0	7,0	46,0	50,0	44,0	48,0	43,7	48,1	39,3	45,9	51
8	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	44,0	47,0	42,0	39,0	42,0	48,0	36,0	44,0	44,0	42,9	47,2	38,6	43,1	46
9	44,0	40,0	44,0	44,0	44,0	42,0	46,0	44,0	46,0	45,0	46,0	47,0	54,0	45,0	51,0	47,0	45,6	50,1	41,0	44,9	49
10	44,0	47,0	46,0	48,0	44,0	43,0	52,0	49,0	48,0	47,0	39,0	52,0	50,0	53,0	46,0	42,0	46,9	51,6	42,2	46,5	52
11	44,0	41,0	42,0	41,0	28,0	40,0	46,0	34,0	37,0	46,0	44,0	46,0	44,0	40,0	44,0	40,0	41,1	45,2	37,0	41,5	44
12	42,0	39,0	48,0	45,0	46,0	47,0	43,0	44,0	50,0	48,0	55,0	57,0	47,0	42,0	46,0	38,0	46,1	50,7	41,5	45,7	51
13	46,0	45,0	41,0	46,0	49,0	48,0	54,0	54,0	50,0	52,0	46,0	49,0	46,0	46,0	47,0	50,0	48,1	52,9	43,3	47,7	54
14	36,0	42,0	38,0	46,0	38,0	37,0	28,0	41,0	40,0	36,0	36,0	38,0	37,0	38,0	42,0	38,0	38,2	42,0	34,4	38,4	36
15	46,0	47,0	44,0	42,0	45,0	42,0	44,0	44,0	40,0	51,0	44,0	48,0	44,0	42,0	46,0	45,0	44,6	49,1	40,2	44,5	49
16	38,0	39,0	36,0	26,0	36,0	37,0	42,0	44,0	28,0	40,0	39,0	35,0	35,0	32,0	36,0	38,0	36,3	39,9	32,7	36,9	34

Fonte: Acervo pessoal (2017).

Após o ensaio foram excluídos os valores de índices esclerométricos que não se encontravam no intervalo de mais ou menos 10% em relação a média, e uma nova média foi calculada, obtendo-se, de acordo com o gráfico apresentado no equipamento utilizado, os valores de resistência aproximada em cada pilar (Tabela 2).

4.6 Ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas

O ensaio de ultrassom foi realizado nos mesmos pilares avaliados no ensaio de esclerometria, principalmente para comparação de resultados.

Segundo Rodrigues (2003), quanto maior o valor da velocidade da onda ultrassônica maior é a resistência do concreto, devido o fato de que quanto maior a compacidade do concreto, maior é a resistência, pois é mais fácil o fluxo da onda ultrassônica pelo material.

Porém, quando compara-se os resultados dos ensaios de esclerometria com o de ultrassom, observa-se que há uma discrepância entre os dados obtidos. Isto deve-se a heterogeneidade do concreto, e também, pelo fato do valor medido da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas ser influenciado por um grande número de variáveis, como a presença de armaduras e o teor de umidade do concreto. Na Tabela 3 é possivel observar em ordem decrescente a velocidade da onda ultrassonica nos pilares estudados e a resistência à compressão estimada na esclerometria.

Tabela 3 – Valores da velocidade de ultrassom, por ordem decrescente

Pilar	Velocidade do pulso ultrassônico (m/s)	Resistência aproximada (Mpa)	Pilar	Velocidade do pulso ultrassônico (m/s)	Resistência aproximada (Mpa)
7	5229,495862	51	2	4045,307443	42
9	4405,286344	49	11	3988,326848	44
3	4260,651629	44	13	3891,050584	54
4	4156,479218	42	15	3853,564547	49
10	4132,231405	52	6	3848,620911	46
8	4070,556309	46	14	3745,318352	36
12	4067,460317	51	16	3551,136364	34

Fonte: Acervo pessoal (2017).

De acordo com as Tabelas 2 e 3, verifica-se que os pilares que apresentaram maior velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, possuíram maiores valores de resistência à compressão, de acordo com o ensaio de esclerometria, mostrando uma boa correlação entre estes ensaios.

Dentre os pilares avaliados, o pilar 14, no qual foi verificada mais de 90% de probabilidade de corrosão da armadura, apresentou, nos ensaios de esclerometria e velocidade de propagação de ondas, resultados de baixa resistência à compressão, o que evidencia o processo de corrosão instalado na estrutura. Apesar do pilar 2, ter apresentado uma resistência superior ao pilar 14, o mesmo também apresentou corrosão, comprovada como causada por íons cloreto pelo ensaio colorimétrico com aspersão de nitrato de prata. Este fato evidencia possível comprometimento dos outros pilares, que apresentaram resistência semelhante.

5. CONCLUSÕES

Após o estudo de caso e a análise dos resultados obtidos pode-se verificar que a edificação apresenta problemas com relação a corrosão das armaduras, o que tem provocado a deterioração das estruturas de concreto da edificação. Estes problemas têm causado uma insegurança dos usuários, evidenciando a necessidade de recuperação da estrutura.

A realização dos ensaios não-destrutivos foi satisfatória, possibilitando a identificação do processo de corrosão por íons cloreto na estrutura avaliada. Além disso, foi possível a correlação entre o ensaio de esclerometria e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, uma vez que os pilares nos quais foram verificados menores valores de velocidade, apresentaram resistências inferiores.

Os resultados obtidos confirmam a necessidade de ações de recuperação e de manutenção da estrutura. Evidenciando a importância da realização de um plano de manutenção preventiva, tendo em vista que grande parte dos problemas verificados foram devido à falta de manutenção, esta, que além de garantir uma maior segurança da estrutura, possui menor custo, se comparado ao de recuperação.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C876-15.** Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. West Conshohocken, PA. 2015.

ANDRADE T. **Tópicos sobre Durabilidade do Concreto**, In: G. C. Isaia (Editor), Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, São Paulo, Brasil: IBRACON, v.1, p.753-792. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

_____. **NBR 7584: Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 8802: Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica.** Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015

CHUNG, H. W.; LAW, K. S. Diagnosing in situ concrete by ultrasonic pulse techinique. **Concrete International**, v. 5, p.42-49, 1983.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. 219p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

FIGUEIREDO, E. P.; MEIRA, G. **Corrosão das armaduras das estruturas de concreto:** Boletim Técnico. 2013. Disponível em: <http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B6- Corros%C3%A3o-das-armaduras-das-estruturas-de-concreto.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2014.

FRANÇA, C. B. **Avaliação de cloretos livres em concretos pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernanbuco, Recife, 2011.

GRABOWSKI, S. L.; PADARATZ, I. J.; PINTO, R. C. A.; **Avaliação de Placas de Concreto com o Método Não Destrutivo do Eco-impacto**. In: CONGRESSSO BRASILEIRO DO CONCRETO (COBRACON 2008), 50, 2008, Salvador. Anais.... São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008. 12p. 1 CD-ROM.

HELAL, J. et al. Non-Destructive Testing of Concrete : A Review of Methods,. **Electronic Journal of Structural Engineering**, v. 14(1), p. 97–105, 2015.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1992.

LORENZI, A.; SILVA FILHO, L. C. P.; CAETANO, L. F.; LORENZI, L.S.; **Monitoramento de Estruturas de Concreto através de Ensaios de Velocidade de Propagação do Pulso Ultra-sônico**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO (COBRACON 2009), 51, 2009, Curitiba. Anais.... São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2009. 13p.

MEDEIROS, M. H. F.; HOPPE FILHO, J.; HELENE, P. Influence of the slice position on chloride migration tests for concrete in marine conditions. **Marine Structures**, v. 22, p. 128-141, 2009.

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

PALHARES, R. A, et al. **Análise esclerométrica de elementos de concreto armado: uma potencial ferramenta na fiscalização de obras públicas**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2015.

REAL, L. V, et al. **Método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata para avaliação da penetração de cloretos em concreto: estado da arte**. Revista ALCONPAT, v. 5, n. 2, p. 149–159, 2015.

SAHUINCO, M. H. C. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de |São Paulo, 2011.

SELLECK, S. F. et al. Ultrasonic investigation of concrete with distributed damage. **ACI Materials Journal,** v. 95, p. 27-36, 1998.