



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENADORIA DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
JOSÉ DOMINGOS DOS SANTOS NASCIMENTO

UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END) PARA ANÁLISE DE
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: ESTUDO DE CASO DE UM RESERVATÓRIO
ELEVADO

ESTÂNCIA
2021

JOSÉ DOMINGOS DOS SANTOS NASCIMENTO

UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END) PARA ANÁLISE DE
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: ESTUDO DE CASO DE UM RESERVATÓRIO
ELEVADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Sergipe como pré-requisito para
a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Gilberto Messias dos Santos
Junior

ESTÂNCIA
2021

N244u Nascimento, José Domingos dos Santos.
Utilização de ensaios não destrutivos (END) para análise de manifestações patológicas: estudo de caso de um reservatório elevado. / José Domingos dos Santos Nascimento. - Estância, 2021.
70 f.; il.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2021.
Orientador: Prof. Esp. Gilberto Messias dos Santos Júnior.

1. Manifestações patológicas. 2. Ensaios não destrutivos. 3. Concreto armado. 4. Reservatório. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. II. Santos Júnior, Gilberto Messias dos. III. Título.

CDU: 624.012.45

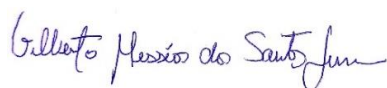
JOSÉ DOMINGOS DOS SANTOS NASCIMENTO

UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END) PARA ANÁLISE DE
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: ESTUDO DE CASO DE UM RESERVATÓRIO
ELEVADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Sergipe como pré-requisito para
a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 22/04/2021

BANCA EXAMINADORA



Gilberto Messias dos Santos Junior, Esp.
Instituto Federal de Sergipe - IFS



Adysson André Fortuna de Souza, M.Sc.
Instituto Federal de Sergipe - IFS



Eliédson Rafael de Carvalho, Esp.
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha mãe Lourdes pelo incentivo e apoio de sempre.

Aos meus avós, Graciliano (*in memoriam*) e Alaíde por ser nossa base familiar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me permitido completar esta etapa, pela força e ânimo nos momentos difíceis desta longa trajetória. Obrigado por conduzir minha vida, me fazendo seguir na melhor direção.

À minha família, em especial a minha mãe e minha avó pelo amor e confiança incondicional, buscando sempre me dar o suporte que precisava.

À Lázara, pela paciência e incentivo nos momentos difíceis, por me fazer acreditar que eu seria capaz de conseguir, mesmo em meios as dificuldades.

Aos amigos e futuros profissionais, Eduardo Macedo e Rayza Stefanny pela parceria desde os primeiros dias da graduação, por estarem sempre dispostos a me ajudar, me auxiliando a passar pelas fases mais difíceis e pela amizade de sempre.

Agradeço ao meu orientador, Gilberto Messias dos Santos Júnior, não apenas por ser meu orientador, mas também pela paciência, compreensão e constante atenção durante todo período da pesquisa.

A todos os professores que contribuíram diretamente e indiretamente neste trabalho e durante toda a minha formação.

Ao Engenheiro Felipe Leite, por toda contribuição e atenção durante o período da realização dos ensaios em campo.

À Rita Maria por ter sido uma grande apoiadora e incentivadora no início da graduação.

Agradeço a Tamires Lima, pela contribuição e compreensão quando precisei durante toda esta trajetória.

E a todos aqueles que puderam contribuir para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

A ocorrência de manifestações patológicas em edificações é comum devido à agressividade do meio ambiente no qual estas estão inseridas e/ou vícios construtivos. Assim, faz-se necessário realizar manutenções corretivas e preventivas em períodos regulares, a fim de manter a funcionalidade da edificação durante a vida útil. O avanço tecnológico permitiu maior eficiência na análise de manifestações patológicas, por meio do uso de ensaios não destrutivos (END), que vêm conquistando o mercado, principalmente, quanto à necessidade de se fazer análise *in loco*, por ser rápido e, em alguns casos, de baixo custo. Existem diversos END que auxiliam no desenvolvimento de manutenções preventivas e corretivas, a exemplo do ensaio de esclerometria e avaliação da frente de carbonatação no concreto. Diante disso, o presente estudo traz a análise das manifestações patológicas presentes num reservatório elevado de concreto armado, localizado na cidade de Itabaianinha-SE, a partir da utilização de END (esclerometria e carbonatação). O ensaio de esclerometria possibilita conhecer a dureza superficial do concreto e, por meio de curvas de correlações, a sua resistência à compressão. Como o processo de carbonatação aumenta a dureza superficial do concreto, consequentemente, há alteração no valor do índice esclerométrico. Assim, também foi avaliada a presença ou não de carbonatação no concreto. Por fim, foi realizada a correlação dos dados com as manifestações patológicas presentes e a associação destas informações possibilitou caracterizar as manifestações, viabilizando um diagnóstico da situação atual da estrutura. A utilização dos END apresentou resultados satisfatórios, uma vez que os dados gerados puderam ser analisados e possibilitaram a obtenção de informações válidas sobre as características da estrutura. Além disso, o ensaio de esclerometria demonstrou ser aplicável quando se pretende fazer uma rápida avaliação da resistência à compressão do concreto. Desta forma, pode-se assegurar que os ensaios não destrutivos torna-se uma ferramenta rápida e segura para a análise da integridade de estruturas em concreto armado.

Palavras-chave: Manifestações patológicas. Ensaaios não destrutivos. Concreto armado. Reservatório.

ABSTRACT

The occurrence of pathological manifestations in buildings is common due to the aggressiveness of the environment to which these are inserted and/or constructive defects. Thus, it is necessary to perform corrective and preventive maintenance at regular intervals, in order to maintain the functionality of the building during its lifetime. Technological advancements have allowed for greater efficiency in the analysis of pathological manifestations, through the use of non-destructive tests (NDT), which have been conquering the market, mainly, regarding the need to perform on-site analyses, as it is fast and, in some cases, low-cost. There are several NDTs that assist the development of preventive and corrective maintenance, for example, the sclerometer test and evaluation of the carbonation front in the concrete. Therefore, this study analyzes, based on the use of NDT (sclerometer test and carbonation), the pathological manifestations present in an elevated reinforced concrete reservoir, located in the city of Itabaianinha-SE. The sclerometer test enables one to get to know the surface hardness of the concrete and, through correlation curves, its compressive strength. As the carbonation process increases the surface hardness of the concrete, consequently there is a change in the value of the sclerometer index. Thus, whether there was carbonation in the concrete or not, it was also evaluated. Lastly, the data were correlated with the present pathological manifestations and the association of this information made it possible to characterize the manifestations, facilitating a diagnosis of the current situation of the structure. The use of the NDT showed satisfactory results, since the data generated could be analyzed and enabled the collection of reliable information on the characteristics of the structure. Additionally, the sclerometer test proved to be suitable when it is intended to make a quick assessment of the compressive strength of concrete. In this way, it can be ensured that the non-destructive tests become a fast and safe tool for the analysis of the integrity of reinforced concrete structures.

Keywords: Pathological manifestations. Non-destructive testing. Reinforced concrete. Reservoir.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Origem dos problemas patológicos	20
Figura 2 - Processo de corrosão do aço	25
Figura 3 - Tipos de corrosão	26
Figura 4 - Representação da frente da carbonatação e alteração do pH do concreto com o tempo	27
Figura 5 - Efeito da eflorescência	29
Figura 6 - Efeito de subflorescência	29
Figura 7 - Fatores contribuintes para formação da eflorescência	30
Figura 8 - Desagregação do concreto em viga	33
Figura 9 - Representação diagramática da RAA	33
Figura 10 - Detalhe do gel em poro preenchido	35
Figura 11 - Esquema ilustrando a operacionalidade do esclerômetro de reflexão	37
Figura 12 - Dimensão da frente de carbonatação	39
Figura 13 - Localização do reservatório	41
Figura 14 - Reservatório elevado	41
Figura 15 - Esclerômetro analógico schmidt – Tipo N	43
Figura 16 - Gabarito utilizado em ensaio de esclerometria	44
Figura 17 - Posições recomendadas para aplicação do esclerômetro	44
Figura 18 - Locação dos pilares	46
Figura 19 - Segregação no pilar 01	47
Figura 20 - Vista das manifestações patológicas em pilares	48
Figura 21 - Verificação do cobrimento da armadura	48
Figura 22 - Vista das manifestações patológicas existentes na viga	49
Figura 23 - Corte longitudinal do reservatório	49
Figura 24 - Cinta em concreto armado	50
Figura 25 - Presença de manifestações patológicas nas cintas do reservatório	50
Figura 26 - Vista inferior da laje do patamar	51
Figura 27 - Vista das lajes de fundo do reservatório	51
Figura 28 - Pilar 02 com o concreto segregado	52
Figura 29 - Presença de segregação e tubulação em pilar 1 e pilar 4	53
Figura 30 - Pedra abrasiva	53
Figura 31 - Locação da área de ensaio	54

Figura 32 - Realização do ensaio de esclerometria	54
Figura 33 - Curva esclerométrica	55
Figura 34 - Vista do pilar 02	57
Figura 35 - Exposição de armadura no pilar 03	57
Figura 36 - Região de ensaio do pilar 05	58
Figura 37 - Ensaio de carbonatação em cinta do reservatório	59
Figura 38 - Ensaio de carbonatação no pilar 06	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Causas intrínsecas das manifestações patológicas no concreto armado	21
Quadro 2 - Causas extrínsecas das manifestações patológicas no concreto armado	21
Quadro 3 - Classificação das aberturas de acordo com as dimensões	23
Quadro 4 - Minerais reativos mais comuns e suas reações químicas	34
Quadro 5 - Principais manifestações patológicas existentes no reservatório	47
Quadro 6 - Síntese dos resultados do estudo de caso	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices esclerométricos obtidos em ensaio	55
Tabela 2 - Resistência à compressão estimada por meio do índice esclerométrico	56

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing and Materials

BSI - British Standards Institution

END - Ensaios Não Destrutivos

IBAPE - Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia

NB - Norma Brasileira

NBR - Norma Brasileira

RAA - Reação Álcali-Agregado

RAC - Reação Álcali-Carbonato

RAS - Reação Álcali-Silicato

UTM - Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	18
2.1.1	Causas e Origens	19
2.2	TIPOS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	22
2.2.1	Fissuras, Trincas e Rachaduras	22
2.2.2	Corrosão em Armaduras	25
2.2.2.1	<i>Corrosão por Carbonatação</i>	27
2.2.3	Eflorescências	28
2.2.4	Segregação do Concreto	30
2.2.5	Desagregação do Concreto	32
2.2.8	Reação Alkali-Agregado (RAA)	33
2.3	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END) PARA O ESTUDO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	35
2.3.1	Inspeção Preliminar	36
2.3.2	Esclerometria	36
2.3.3	Avaliação do Nível de Carbonatação em Concreto	38
3	METODOLOGIA	40
3.1	TIPOLOGIA DA PESQUISA	40
3.2	OBJETO DE ESTUDO	40
3.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	42
3.3.1	Inspeção preliminar	42
3.3.2	Esclerometria	42
3.3.3	Avaliação do Nível de Carbonatação em Concreto	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1	INSPEÇÃO PRELIMINAR	46
4.1.1	Pilares	47
4.1.2	Viga de Fundo	48
4.1.3	Cintas	49

4.1.4	Patamar	50
4.1.5	Lajes do fundo e lajes da tampa	51
4.2	ENSAIO DE ESCLEROMETRIA	52
4.3	ENSAIO DE CARBONATAÇÃO	59
4.4	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO	60
5	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	62
	APÊNDICE A – Ficha do Ensaio Inspeção Visual	69
	APÊNDICE B – Ficha do Ensaio de Esclerometria	70

1 INTRODUÇÃO

A patologia é uma ciência direcionada a estudar as causas e as origens da ocorrência de problemas em várias áreas. Inicialmente, foi desenvolvida para estudar as doenças no campo da medicina, mas, ao longo do tempo, principalmente com o avanço das tecnologias, ampliaram-se as outras áreas, a exemplo da Engenharia Civil, na qual são desenvolvidos métodos capazes de identificar as causas e as origens de problemas que se manifestam durante a vida útil das edificações.

Os problemas que surgem nas edificações são classificados como manifestações patológicas, e, por meio da sua análise, *in loco* ou em laboratórios, pode-se identificar as suas causas e origens. Isto é possível devido às manifestações apresentarem características específicas para cada anomalia¹ construtiva. As manifestações que acontecem com maior frequência são as fissuras, manchas, umidade, desagregação e deslocamento do concreto, corrosões, deformações excessivas, entre outras. Às vezes, é possível fazer um diagnóstico apenas por meio da análise visual, porém, em situações complexas, são recomendadas consultas a projetos, verificação das cargas que atuam na estrutura, a forma como foi executada e, quando possível, a análise do comportamento das manifestações a determinados estímulos.

Torna-se comum as edificações apresentarem, cada vez mais, manifestações patológicas devido aos vícios construtivos que, na maioria das vezes, passam despercebidos e geram problemas durante o uso da edificação. Além disso, as edificações estão sempre expostas a intempéries e, na maioria das vezes, passam por pouca manutenção, seja preventiva ou corretiva, facilitando o surgimento de várias manifestações patológicas.

Para Muniz et al. (2020), as manifestações patológicas podem surgir por vários fatores ou devido a uma associação entre eles. Pode ocorrer pelo envolvimento do concreto com o meio externo, pela reação entre os seus componentes ou a combinação entre eles. De acordo com Bezerra et al. (2017), as manifestações patológicas mais frequentes, em edificações em geral, surgem devido a falhas na elaboração de projetos, uso de materiais com baixa qualidade, falha na execução e pouca manutenção. Para Helene e Figueiredo (2003), como a origem da maioria das manifestações patológicas estão na fase de projeto, logo os projetistas são os principais responsáveis em evitá-las, através da elaboração de projetos com maior qualidade e detalhes construtivos, de forma que não haja dúvidas durante a execução. Para Granato (2002), a

¹ Estado ou qualidade do que é anômalo; anormalidade, irregularidade.

realização de inspeções e manutenções frequentes são fundamentais para o desempenho e a qualidade de uma edificação durante o uso.

Como as edificações estão sujeitas a diversos fatores agressivos, a exemplo do calor, umidade, sobrecargas, e erros construtivos, estas estarão sempre sujeitas a desenvolverem diversas manifestações patológicas. Dessa forma, é necessário prevê um plano de manutenções corretivas e preventivas para que sejam executadas com frequência.

Diante disso, o presente trabalho traz a análise das manifestações patológicas presentes em um reservatório elevado de concreto armado, através dos ensaios não destrutivos de esclerometria e carbonatação.

1.1 JUSTIFICATIVA

O surgimento de manifestações patológicas e a necessidade de um bom desempenho das edificações, ao longo da vida, exigem a realização de manutenções periódicas, que devem ser desenvolvidas de acordo com a ABNT NBR 5674:2012 - Manutenção de edificações - requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Essa norma traz recomendações para preservar as características originais da edificação e prevenir a perda de desempenho decorrente da degradação dos seus sistemas, elementos ou componentes.

Tendo em vista a necessidade da realização de manutenções nas construções em geral, os Ensaio Não Destrutivos (END) surgem como alternativa para avaliação dos elementos construtivos e possibilitam diagnósticos mais rápido, além do mais, podem avaliar a integridade e a capacidade das edificações para resistirem às solicitações não previstas em projetos (MEDEIROS, 2013).

Para Sahuinco (2011), a utilização dos END é útil para avaliação qualitativa e quantitativa das condições de segurança e funcional dos elementos construtivos, evitando a ocorrência de danos maiores com um baixo custo de operação. Outra vantagem, segundo Neville (1997), é a possibilidade de aplicá-lo várias vezes no mesmo elemento e fazer um acompanhamento da sua integridade ao longo do tempo, gerando informações mais pontuais em relação às obtidas em ensaios feitos durante a execução.

Estes ensaios são capazes de fornecer informações importantes sobre a resistência e a característica geométrica dos materiais, além de permitir a localização de fissuras e descolamento do concreto.

De acordo com Lorenzi (2009), a utilização dos END no Brasil vem aumentando cada vez mais. O autor cita que a engenharia civil é um campo no qual estes ensaios se desenvolveram bastante, por ser um aliado aos profissionais ao auxiliarem no controle da qualidade das edificações.

Fica claro que, quando há ótimas condições de execução, os ensaios não destrutivos geram resultados rápidos e seguros na análise de manifestações patológicas, dispensando métodos invasivos e dispendiosos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um estudo de caso, através da utilização de Ensaio Não Destrutivo (END), para análise das principais manifestações patológicas existentes em reservatório elevado de concreto armado, localizado na cidade de Itabaianinha-SE.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Fazer levantamento das manifestações patológicas existentes no reservatório;
- Realizar os ensaios não destrutivos de esclerometria e carbonatação;
- Caracterizar o desempenho da estrutura por meio dos ensaios de esclerometria e carbonatação;
- Correlacionar os dados obtidos pelos END e as manifestações patológicas encontradas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, foi feita uma revisão bibliográfica, em livros e em trabalhos acadêmicos, das principais características das manifestações patológicas, dos tipos de manifestações mais comuns em edificações, assim como uma abordagem de alguns ensaios não destrutivos mais utilizados no Brasil, a exemplo da esclerometria e carbonatação.

2.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

O termo Patologia, de origem grega (*páthos* doença, e *lógos* estudo), caracteriza-se como uma ciência utilizada em diversas áreas que variam de acordo com o objeto de estudo. Desse modo, é utilizada na Engenharia civil para analisar as causas das manifestações patológicas que surgem nas edificações (NAZARIO; ZANCAN, 2011). Helene (1992) define a patologia na engenharia como a ciência que se preocupa em descobrir as causas e as origens dos problemas que danificam os elementos, ou seja, por meio dela, é possível fazer um estudo das manifestações externas e descobrir os fenômenos envolvidos, bem como estimar seus possíveis danos.

De acordo com a Norma de Inspeção Predial Nacional (IBAPE, 2012), as manifestações patológicas surgem através de anomalias, que são inconformidades capazes de impactar na perda precoce de desempenho real ou futuro dos elementos e sistemas construtivos, reduzindo a vida útil da edificação.

Ainda de acordo com a Norma citada acima, as anomalias são classificadas em quatro grupos:

- a) endógena: quando originada da própria edificação, devido a erros de projetos, materiais e/ou execução;
- b) exógena: quando originada devido a fatores externos à edificação, provocados por terceiros;
- c) natural: quando originada de fenômenos da natureza, tanto previsíveis quanto imprevisíveis;
- d) funcional: quando originada do uso da edificação.

A NBR 13752 – Perícias de engenharia na construção civil (ABNT, 1996) cita que as anomalias são defeitos nas edificações que afetam a saúde e a segurança dos usuários, ou podem

ser vícios construtivos que afetam o desempenho do produto e os tornam inadequados, causando transtornos ou prejuízos. Por sua vez, os vícios construtivos podem ser considerados como manifestações patológicas decorrentes de falhas de projetos, da execução, ou ainda, da incorreta utilização e manutenção da edificação.

Portanto, todas as edificações estão sujeitas ao aparecimento de manifestações patológicas, com origens e causas distintas, que podem surgir durante a construção, no decorrer da habitação ou durante manutenções contínuas (LOVE; EDWARDS apud MILION, 2019).

2.1.1 Causas e Origens

Definir as causas e origens das manifestações patológicas em edificações não é algo simples, por isso, exigem do pesquisador a realização de uma análise profunda para chegar a um resultado confiável, já que uma manifestação simples ou complexa pode surgir por vários motivos.

O processo de construção, segundo Helene (1992), pode ser dividido em cinco grandes etapas: planejamento, projeto, fabricação de materiais, construção e uso. Assim, as buscas pelas origens das manifestações patológicas são desenvolvidas seguindo essa divisão construtiva para obter resultados mais precisos.

A maioria das anomalias, conforme o estudo de Helene e Fegueiredo (2003), tem origem na etapa de projeto, sendo o projetista o responsável pela correção. Para Milion (2019), as manifestações surgem a partir de falhas de projetos e de construção. Para o autor, as manifestações na fase construtiva são decorrentes do mau uso de materiais, da falta de manutenções preventiva ou corretiva e de erros de manutenções, que podem acelerar a ação das manifestações patológicas já existentes.

Ainda sobre as manifestações na fase construtiva, Andrade (1997) relata que a classificação da origem das anomalias é de difícil interpretação, devido à grande variedade de possíveis causas que podem provocar o seu surgimento.

A Figura 1 mostra o resultado do estudo feito por Helene e Fegueiredo (2003) sobre a origem das manifestações patológicas.

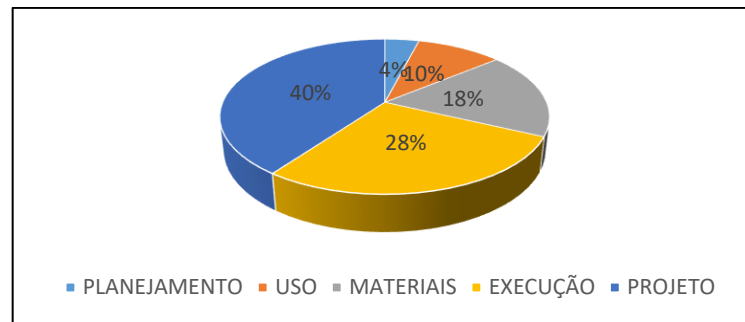


Figura 1 - Origem dos problemas patológicos
Fonte: Adaptado de Helene e Figueiredo (2003)

Conforme a Figura 1, a maior parte das manifestações é decorrente de erros de projetos e de construção. Logo, fica clara a necessidade de projetos bem planejados e executados, para evitar o surgimento de manifestações durante a vida útil da edificação.

Um diagnóstico deve aportar sempre a origem da manifestação patológica. Um exemplo é demonstrado por Helene (1992 apud, ALMEIDA, 2008) ao analisar o estado de fissuração inaceitável de uma viga, causado por ação de momentos fletores, no qual este fenômeno pode ter origem devido a um projeto mal executado, na qualidade inferior do concreto ou armadura, ou no devido uso irregular da edificação.

A identificação das causas é sempre essencial, não só para fazer os reparos necessários, como também para garantir que seja feita a correção, de modo que a manifestação não volte a acontecer. De acordo com Souza e Ripper (2009), as causas das manifestações patológicas em concreto podem ser classificadas em dois grupos distintos:

- a) intrínsecas: são as deteriorações específicas que têm origem na própria estrutura e materiais, durante a fase construtiva ou uso da edificação. São consequências da falha humana, das questões próprias dos materiais e das ações externas, como acidentes. Outras causas intrínsecas são mostradas no Quadro 1.

CAUSAS INTRÍNSECAS			
Falhas humanas durante a construção			
Deficiência de Concretagem	Deficiências na armadura	Utilização incorreta dos materiais de construção	Inadequação de escoramentos e formas
Lançamento Junta de Concretagem Adensamento Cura	Interpretação de projetos incorretos Insuficiência de armaduras Mau posicionamento Cobrimento de concreto insuficiente Deficiência nas emendas Má utilização de anticorrosivos	Fck inferior ao especificado Aço diferente do especificado Solo com características diferentes Utilização de agregados reativos Utilização inadequada de aditivos Dosagem inadequada de concreto	
Causas naturais		Causas físicas	Falhas humanas
Reações internas ao concreto Expansibilidade de certos constituintes do cimento Presença de Cloretos Presença de ácidos e sais Presença de anidro carbônico Presença de água Elevação da temperatura interna do concreto		Variações de temperaturas Insolação Vento Água	Ausência de manutenção.

Quadro 1 - Causas intrínsecas das manifestações patológicas no concreto armado

Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (2009)

b) extrínsecas: é o tipo de manifestação que independe do corpo estrutural. São causadas por fatores externos, como se fosse de “fora para dentro” da estrutura.

Alguns exemplos são mostrados no Quadro 2.

Falhas humanas durante o projeto	Falhas humanas durante a utilização	Ações mecânicas	Ações físicas
Modelização inadequada da estrutura Má avaliação das cargas Detalhamento errado ou insuficiente Inadequação ao ambiente Incorreção na interação solo-estrutura Incorreção na consideração de juntas de dilatação	Alterações estruturais Sobrecarga exagerada Alteração das condições do terreno de fundação	Choques de veículos Recalques de fundações Acidentes (Ações imprevisíveis)	Variação de temperatura Insolação Atuação de água

Quadro 2 - Causas extrínsecas das manifestações patológicas no concreto armado

Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (2009)

Através do trabalho de Souza e Ripper (2009), observa-se que as manifestações patológicas podem surgir por diversos fatores que atuam em conjunto ou separados. Devido a esta variedade, Carballal Junior (2019, p.46) cita que “é necessária a experiência de um

profissional habilitado para o correto diagnóstico e correção destes problemas, que podem afetar diretamente o desempenho e a durabilidade das estruturas”.

Das diversas causas que podem contribuir para o surgimento das manifestações patológicas, a umidade requer maior atenção. Segundo Verçoza (1991), ela pode surgir a partir da água utilizada na construção por capilaridade, chuva, vazamento da rede hidráulica e condensação, podendo provocar o surgimento das seguintes manifestações: eflorescência, corrosão, mofo, bolores, que em estados mais avançados podem causar acidentes estruturais.

2.2 TIPOS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Conforme observado no tópico anterior, percebe-se que as manifestações patológicas podem surgir por diversas causas, que vão desde a construção até o uso da edificação. Dessa forma, buscou-se na literatura o que estudiosos da área abordam sobre algumas manifestações que são comuns nas edificações.

2.2.1 Fissuras, Trincas e Rachaduras

De acordo com a NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento (ABNT, 2014), as fissuras são manifestações patológicas frequentes nos elementos construtivos. Podem surgir por diversas causas e se manifestam externamente, indicando que algo errado está acontecendo com a edificação. É comum encontrá-las em estruturas de concreto devido à retração e às tensões das cargas acidentais. Para Souza e Ripper (2009), as fissuras podem ser consideradas como uma manifestação típica das estruturas de concreto, mas não devem ser apontadas como a principal causa de deficiências estruturais, antes de diagnosticar a origem, a deficiência e a magnitude.

Conforme Dal Molin (1988), as fissuras em concreto surgem por diferentes mecanismos e podem se manifestar no estado fresco ou endurecido. Algumas causas das fissuras no concreto, quando fluido, são o assentamento plástico, o dessecamento superficial e/ou a movimentação da forma. Já no estado endurecido, pode ocorrer por meio da retração por secagem, corrosão das armaduras, movimentações térmicas provocadas, principalmente, pelo calor de hidratação do cimento e por influências externas, como as mudanças nas condições ambientais e acidentais.

É comum encontrar vários estudos sobre fissuras, especificamente em estruturas de concreto, devido à enorme diversidade de causas que podem provocá-las. Para Fernádes

Cánovas (1988 apud, GIACOMELLI, 2016), as fissuras podem surgir em estruturas de concreto por manifestações de outras anomalias. Para Helene (1992), as fissuras podem surgir devido aos esforços de tração, compressão, cortante e torção, e em virtude do fenômeno de retração. Assim é recomendado descobrir as verdadeiras causas antes de fechá-las.

Para Chaves (2017), uma das causas de fissuras é a retração dos materiais à base de cimento. Como a retração do concreto é um processo natural da massa, essa pode ser minimizada pela ação dos outros materiais que fazem parte da estrutura, a exemplo das armaduras e elementos externos que podem ser vinculados. Recomenda-se também adotar medidas em projeto ou durante a construção para evitar a retração e, conseqüentemente, diminuir o surgimento de fissuras.

Além das estruturas de concreto, as fissuras também ocorrem em alvenaria de vedação ou estrutural. Sampaio (2010) salienta que, neste caso, as fissuras podem ser causadas pelos seguintes fatores: baixo desempenho às solicitações de tração, compressão e cisalhamento dos elementos que compõem a alvenaria, retração da argamassa e diferença entre as propriedades dos materiais.

De acordo com Duarte (1998), as fissuras podem ser classificadas em ativa e passiva. As fissuras ativas são aquelas em que as causas ainda continuam na estrutura, enquanto nas passivas não há continuidade ou agravamento da anomalia. Quando não há um tratamento prévio das fissuras, a abertura pode evoluir a maiores dimensões. Sartorti (2008), em seu trabalho, traz a classificação das aberturas de acordo com as dimensões, como mostra Quadro 3.

Tipos de aberturas	Tamanho
Fissura capilar	menos de 0,2 mm
Fissura	de 0,2 mm a 0,5 mm
Trinca	de 0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	de 1,5mm a 5 mm
Fenda	de 5 mm a 10 mm
Brenda	mais de 10 mm

Quadro 3 - Classificação das aberturas de acordo com as dimensões

Fonte: Adaptado de Sartorti (2008)

A NBR 6118 (ABNT, 2014) traz os limites de aberturas de acordo com a possibilidade de corrosão da armadura, perda de durabilidade ou perda de segurança quanto aos estados-limites últimos:

- a) 0,2 mm para peças expostas a ambiente industrial e de respingo de maré (classe de agressividade ambiental IV);
- b) 0,3 mm para peças expostas a meio urbano, marinho e industrial moderado (classe de agressividade ambiental II e III);
- c) 0,4 mm para peças expostas em meio de agressividade fraca, como o rural e submerso (classe de agressividade ambiental I).

Ao fazer uma analogia entre a NBR 6118 (ABNT, 2014) e o estudo de Sartorti (2008), pode-se dizer que a fissura capilar em edificações construídas na classe de agressividade ambiental mais prejudicial, ou seja, classe IV, não traz perigo de corrosão às armaduras. O mesmo pode-se dizer das fissuras que surgem nas estruturas construídas na classe de agressividade ambiental I, II e III. As demais aberturas devem ser analisadas e tratadas.

Das aberturas mencionadas no Quadro 3, Thomaz (1989) evidencia as trincas por apresentarem três aspectos relevantes: o aviso de um eventual estado perigoso para a estrutura, o comprometimento do desempenho da obra em serviço (estanqueidade à água, durabilidade, isolamento acústica etc.) e o constrangimento psicológico que a abertura traz para as pessoas que usam a edificação. Ainda de acordo com o autor, as trincas podem surgir devido a erros no projeto arquitetônico. Neste caso, podem ser evitadas, desde que o profissional conheça as propriedades dos materiais e o sistema construtivo.

Em conformidade com Moura (2019), os fatores que podem acelerar o surgimento das trincas são:

- a) velocidade de avanço das construções;
- b) diminuição de mão de obra qualificada;
- c) aplicação de novos materiais e processos construtivos sem o acompanhamento de técnicos especializados.

Por fim, é recomendável que, antes de restaurar as fissuras, trincas e rachaduras, seja feita uma análise cautelosa para descobrir as suas verdadeiras causas e origens. Só assim evitará que o problema se manifeste novamente.

2.2.2 Corrosão em Armaduras

As armaduras utilizadas na construção civil são produzidas por meio de uma liga metálica conhecida por aço, que é resultante de uma liga de ferro e de pequenas proporções de carbono. Assim, para utilizá-lo na construção civil, é preciso passá-lo pelo processo de redução, combinado com aplicação de energia para extrair o metal (NUNES, 2009).

Como na natureza, os materiais tendem a voltar para sua forma original, o aço com o tempo perde energia e volta ao seu estado natural, sendo um processo inverso ao da fabricação, considerado como corrosão (GENTIL, 1996). Assim, pode-se afirmar que o processo de corrosão é natural, espontâneo, libera energia para o ambiente e representa a distribuição paulatina do metal. A Figura 2 mostra um esquema deste processo.

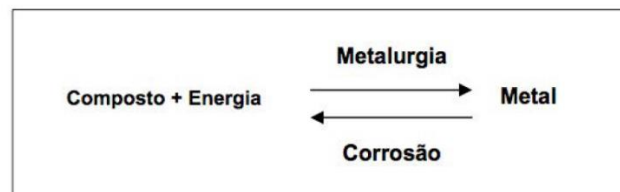


Figura 2 - Processo de corrosão do aço
Fonte: Gentil (1996)

Helene (1992) traz uma definição mais técnica da corrosão em aço. Para ele, é um processo de decomposição do material pela ação do meio, que geralmente acontece nos materiais metálicos e não metálicos por reação química ou eletroquímica.

Segundo Gentil (1996), a corrosão química é resultante da exposição dos metais com o meio que está envolvido. Este tipo de corrosão não oferece muito perigo às obras civis, devido ao próprio processo, que desenvolvem uma película sobre o aço e reduz a velocidade da corrosão.

Já a corrosão eletroquímica ocorre em meio aquoso, também chamado de eletrólito, com a formação de uma célula de corrosão por diferença de potencial na superfície do aço, conhecida como pilha eletroquímica (CASCUDO, 1997). Nesse tipo de processo, há sempre uma reação de redução e outra de oxidação, como também a movimentação dos elétrons através de um eletrólito (WOLYNEC, 2003). Este tipo de corrosão é mais agressivo ao aço utilizado em obras, com nível de deterioração bastante significativo e prejudicial ao funcionamento da estrutura.

A corrosão pode se manifestar na superfície do material, nos formatos apresentados na Figura 3, ou seja, corrosão generalizada irregular, corrosão localizada e as corrosões com a formação de pites ou formação de fissuras (FELIÚ, 1984 apud, MEIRA, 2017).

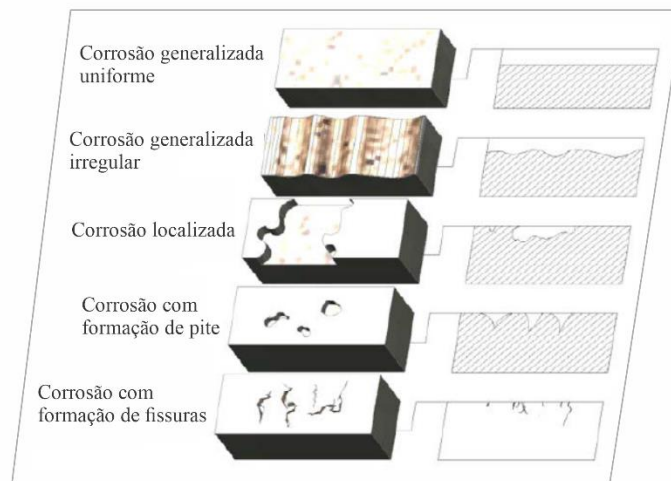


Figura 3 - Tipos de corrosão
Fonte: adaptado de Meira (2017)

Cascudo (1997) cita os principais agentes agressivos que podem desencadear as corrosões nas armaduras, são eles: a ação dos íons cloretos que desenvolve a corrosão localizada por pite; a redução do pH do concreto (carbonatação), que provoca a corrosão generalizada; e a corrosão localizada sob tensão fraturante. De acordo com Aranha (1994), as porosidades do concreto, as falhas de projeto estrutural e/ou falhas de execução, mais especificamente o cobrimento da armadura, contribuem diretamente para que as corrosões aconteçam.

Para Gentil (1996), essas falhas favorecem a despassivação das armaduras por carbonatação ou cloretos, que, em quantidade elevada, rompe a camada de passivação. Assim, para evitar as corrosões, o autor recomenda que seja feito um controle tecnológico do concreto, do cobrimento da armadura e da fissuração, como também utilizar cimento composto com adição de escória ou material pozolânico.

A corrosão causa danos ao concreto, os quais são manifestados na forma de expansão, fissuração e deslocamento do mesmo. Já os danos estruturais são consequências da redução da seção transversal da barra e da diminuição da resistência do conjunto, além disso favorece a carbonatação (SILVA, 1995 apud, CARDOSO, 2018).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a principal manifestação de uma estrutura que está em processo de corrosão é a presença de manchas marrons na superfície do elemento e a fissuração longitudinal na direção da barra.

2.2.2.1 Corrosão por Carbonatação

Segundo Kazmierczak e Zara (1996), a carbonatação do concreto é um processo natural que acontece por meio do contato de gases ácidos do ambiente com a face exposta do material. Ainda de acordo com o autor citado, a absorção desses ácidos transforma os íons alcalinos do concreto em cloretos. Dessa forma, a carbonatação pode ser compreendida como fenômeno de redução da alcalinidade do concreto, por meio da ação dos gases (ALMEIDA; SALES, 2018 apud, PEREIRA, 2019). Para Pires (2016, p. 27), “os principais gases ácidos que levam à carbonatação que podem ser encontrados no ar atmosférico são: o gás sulfídrico (H_2S), o dióxido de enxofre (SO_2) e, principalmente, o gás carbônico (CO_2)”.

Quando a estrutura está submetida à presença de CO_2 , este penetra por meio dos poros, reage na presença de umidade, avança pela seção transversal e gera a frente da carbonatação (SILVA, 2007). Para Kulakowski (2002), na reação de carbonatação, são eliminados os compostos alcalinos da pasta de cimento como o hidróxido de potássio (KOH), o hidróxido de sódio (NaOH) e o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$). Como consequência tem-se a redução do pH do concreto, que, em condição natural, se apresenta entre 12,6 a 13,5, e com o efeito da carbonatação pode diminuir para 9 ou até mesmo 8,3 (NEVILLE, 1997).

De acordo com Pauletti (2009), a redução do pH do concreto, conhecida por carbonatação, destrói a película passivadora que envolve o aço e deixa a armadura sujeita à ação dos agentes químicos, facilitando o processo de corrosão. A carbonatação no concreto pode ocorrer em qualquer ambiente, sendo com maior frequência nas cidades, por conta da grande quantidade de CO_2 , que pode chegar a 1% de concentração (NEVILLE, 1997).

A Figura 4 é um esquema representativo de carbonatação no concreto. Nesta, observa-se o avanço da carbonatação, a alteração na alcalinidade (devido à redução do pH) e a estrutura porosa dos materiais (devido à precipitação dos carbonatos). Com o avanço do tempo (t_1 e t_2), acontece a reação do gás carbônico (CO_2) com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), disponível na matriz cimentante, formando o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), como consequência tem a redução do pH do concreto. Quando esse processo ultrapassa o cobrimento, diz-se que a armadura está despassivada (desprotegida) e sujeita à corrosão (POSSAN, 2010).

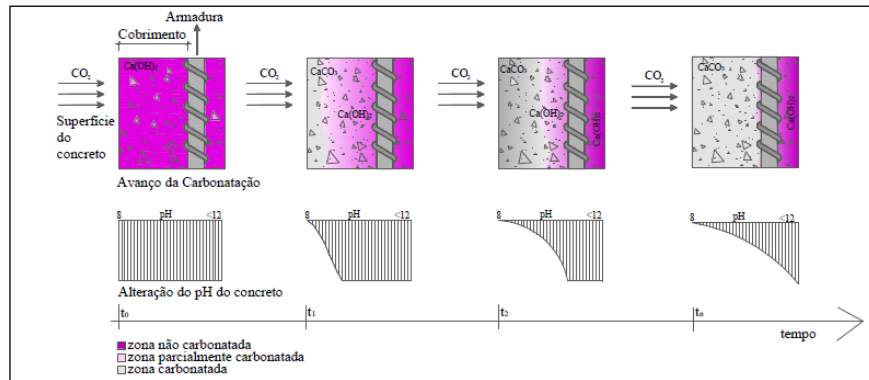


Figura 4 - Representação da frente da carbonatação e alteração do pH do concreto com o tempo

Fonte: Adaptado de Possan (2010)

De acordo com Pauletti (2009) e Helene (1997), o efeito da carbonatação não é prejudicial ao concreto, e sim às armaduras por facilitar a sua corrosão. Assim, para evitar que a corrosão aconteça, a NBR 6118 (ABNT, 2014) indica medidas preventivas para o controle do cobrimento das armaduras e fissuração do concreto, como também recomenda que o concreto tenha baixa porosidade, a fim de dificultar o ingresso de agentes agressivos em seu interior.

2.2.3 Eflorescências

As eflorescências são manchas que surgem na superfície dos materiais devido à ação transportadora da água (BASEGIO; BERUTTI; BERGMANN, 2000). Santos e Silva Filho (2008) definem as eflorescências de forma mais técnica: para eles, são depósitos cristalinos de cor branca que surgem na superfície de revestimento, como piso (cerâmicos ou não), paredes e tetos, resultantes da migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas. Além disso, podem surgir em argamassas e concretos (GRANATO, 2002).

Verçoza (1991) cita que a eflorescência pode surgir em qualquer tempo nas estruturas de concreto, mas não resulta em problemas graves. Pode causar, a depender do grau de salinidade, descolamento de pinturas e revestimentos e, apenas em casos graves, a queda de elementos construtivos.

De acordo com Menezes et al. (2006), além das eflorescências, existem também as subflorescências, estas se diferenciam pelos depósitos salinos nos materiais. A eflorescência acontece quando os depósitos salinos aparecem na superfície e a subflorescência quando estão sob a superfície. O autor ainda cita que as eflorescências podem causar deterioração microestrutural, próximo à superfície, e degradação estética. Já as subflorescência podem

causar problemas mais graves, como perda da resistência e durabilidade do material. A Figura 5 e Figura 6 mostram essas manifestações.



Figura 5 - Efeito da eflorescência
Fonte: Marques (2017)



Figura 6 - Efeito de subflorescência
Fonte: Freitas (2018)

Existem três tipos de eflorescências que se manifestam com maior frequência. O primeiro deles é caracterizado pelo acúmulo de sais brancos, muito solúvel em água, e surge em alvenaria aparente, revestimento de argamassa e junta de dilatação. O segundo tipo apresenta-se também em cor branca, porém em forma de corrimento, muito aderente e pouco solúvel em água, surge com maior frequência em superfície de concreto (Figura 5) e às vezes em alvenarias (SOUZA, 2018). O terceiro tipo de eflorescência mais comum surge por meio dos depósitos de sais que se manifestam em junta de alvenaria aparente fissuradas, devido à expansão de corrente da hidratação do sulfato de cálcio existente no tijolo ou da reação tijolo e cimento (UEMOTO, 1988 apud, PAZ et al., 2016).

Geralmente, os sais responsáveis pela maioria das eflorescências são os metais alcalinos (potássio e sódio) e alcalinos-ferrosos (cálcio e magnésio, solúveis ou parcialmente solúvel em água). De forma geral, a eflorescência só ocorre com a combinação dos seguintes fatores: os

sais solúveis nos materiais ou componentes, presença de água, pressão hidrostática, para que a solução migre para a superfície, e possibilidade de evaporação (FERNANDES, 2010). Figura 7 representa esses elementos.

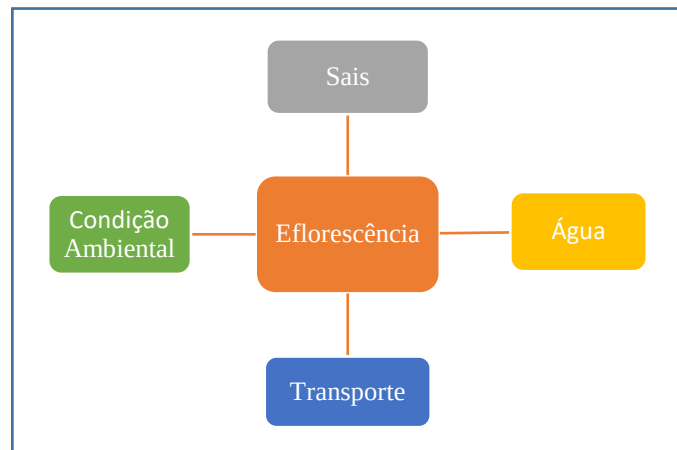


Figura 7 - Fatores contribuintes para formação da eflorescência

Fonte: Autor (2021)

Assim, pode-se afirmar que a inexistência de pelo menos um dos fatores acima evita a eflorescência.

Fernandes (2010) cita em seu trabalho as características de alguns materiais que favorecem o surgimento de eflorescência:

- a) material com rede capilar fina e muito compacto;
- b) material úmido, não saturado de umidade;
- c) a possibilidade de obtenção de sais;
- d) a existência de laminação.

A combinação de alguma dessas características com a água proveniente do subterrâneo, água da chuva, águas de infiltração e da ruptura da rede de distribuição e esgoto pode causar eflorescências nos materiais (FREITAS, 2018).

2.2.4 Segregação do Concreto

Neville e Brooks (2013, p.81) define a segregação como sendo “a separação dos constituintes de uma mistura heterogênea de modo que sua distribuição não seja mais uniforme”. Outra definição é colocada por Guetti (2012), o qual diz que a segregação é a

separação dos componentes construtivos da pasta de cimento, durante o lançamento, e que está relacionada à viscosidade da pasta e à dimensão do agregado.

O concreto, ao ser preparado corretamente, transforma-se em uma massa homogênea. No entanto, se ocorrer um erro durante a preparação ou lançamento, resultará em um material cheio de vazios, permeável à passagem de água e de outros agentes agressivos, caracterizando a segregação (LOTTERMANN, 2013).

Para Piancastelli (1997), a separação da massa do concreto pode ser provocada pelos seguintes fatores:

- a) concreto mal dosado;
- b) lançamento do concreto;
- c) alta concentração da armadura impedindo a passagem do agregado;
- d) vazamento da pasta de cimento pela forma;
- e) uso intensivo de vibrador.

Já para Neville e Brooks (2013), a principal causa de segregação no concreto é a diferença na granulometria das partículas e massa específica dos constituintes. Porém pode ser minimizada com a distribuição adequada dos agregados e com o cuidado durante a execução. De acordo com Herani (2012), todas as estruturas de concreto estão sujeitas à segregação, independente do concreto ser moldado *in loco*, pré-moldado ou protendido. Segundo Ambrosio (2004), a segregação do concreto pode ser classificada de acordo com as características aparentes da superfície:

- a) superficial: quando não há exposição de agregado, apenas falha na argamassa aparente.
- b) média: nesse estágio, há o aparecimento do agregado com grandes falhas na superfície.
- c) profunda: há o desprendimento do agregado graúdo, com profundas imperfeições na superfície; ou sem falhas na superfície, porém contendo vazios internos.

Ainda de acordo com o autor, esse tipo de manifestação, nos elementos estruturais, apresenta-se com maior frequência nas seguintes regiões:

- a) junto à base (de pilares, paredes e elementos estruturais verticais);
- b) junto à face inferior (de vigas, lajes e elementos estruturais horizontais);
- c) em junta de concretagem (elementos estruturais em geral);
- d) em junta de dilatação (elementos estruturais em geral);
- e) em junção de elementos;
- f) concreto segregado geral.

2.2.5 Desagregação do Concreto

O processo de desagregação do concreto acontece devido à ação externa da água, que remove a pasta do cimento e tem como consequência a diminuição da resistência do concreto (AMBROSIO, 2004). Souza e Ripper (2009) traz definição similar, porém eles entendem que a desagregação causa a separação do concreto em fatias. Já Cánovas (1988) concorda que a redução de resistência acontece, todavia devido à perda de coesão dos elementos constituintes do concreto.

Esse tipo de manifestação inicia com a alteração da coloração do concreto e, geralmente, desenvolvem fissuras em todas as direções, que aumentam de dimensão com rapidez devido à expansão da pasta de cimento (PIANCASTELLI, 1997 apud, LOTTERMANN, 2013).

Consoante o autor, são vários os fatores que podem provocar a desagregação:

- a) ataques químicos, como os de sulfatos;
- b) reação álcali-agregado;
- c) águas em geral (pura, chuva e servidas);
- d) micro-organismos, fungos, e outros, através de sua ação direta e de suas excreções ácidas;
- e) substâncias orgânicas como as gorduras, animais e óleos;
- f) produtos altamente alcalinos.

Na Figura 8, mostra-se a desagregação do concreto em estágio avançado, permitindo a exposição do aço.



Figura 8 - Desagregação do concreto em viga
Fonte: Araldi (2013)

2.2.8 Reação Alkali-Agregado (RAA)

A reação Álcali-Agregado (RAA) representa várias reações químicas que ocorrem internamente no concreto. Essas reações envolvem alguns minerais reativos presentes nos agregados e os álcalis expostos nas reações dos poros do concreto (derivados de sódio ou potássio). Segundo Fatt e Beng (2007 apud, SILVA, 2016), é necessária uma quantidade significativa desses três componentes para que a reação ocorra. A Figura 9 ilustra os componentes da RAA.

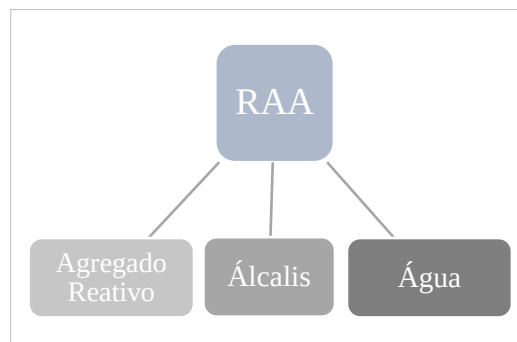


Figura 9 - Representação diagramática da RAA
Fonte: Autor (2021)

Segundo Mehta e Monteiro (2005 apud, SALOMÃO, 2017), a principal fonte de álcali no concreto provém dos materiais utilizados na fabricação do clínquer do cimento portland, que pode variar entre 0,2% a 1,5% de Na_2O . Com o aumento de teor de álcalis, o concreto atinge pH entre 12,5 a 13,5, tornando-se um fluido extremamente alcalino que, em presença de rochas ácidas, não se mantém estável por muito tempo.

Segundo Hasparyk (2005), a RAA é dividida em três formas, de acordo com a composição mineralógica dos agregados. São elas: Reação álcali-sílica (RAS), Reação álcali-silicato (tipo específico da RAS) e Reação álcali-carbonato (RAC). A NBR 15577-1 - Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1 (ABNT, 2018) define-as das seguintes maneiras:

- a) reação álcali-sílica (RAS): nesse tipo de reação participam a sílica reativa dos agregados e os álcalis do cimento. Para Hasparyk (2011), esse tipo de reação é o que se desenvolve mais rápido.
- b) reação álcali-silicato: é um tipo específico da reação RAS do qual participam os álcalis e silicatos de alguns tipos de rocha.
- c) reação álcali-carbonato (RAC): resultado da interação dos álcalis do cimento com os agregados carbonáticos.

Segundo Hasparyk (2011), a RAC é o tipo de reação mais comum de se encontrar no Brasil, sendo a principal responsável pela deterioração da maioria das estruturas.

No Quadro 4 pode-se conhecer alguns tipos de minerais reativos e quais reações provocam.

Mineral Reactivo	Natureza da Reação
Quartzo Deformado	Álcali-Silicato
Opala	Álcali-Sílica
Calcedônia	Álcali-Sílica
Tridimita/Cristobalita	Álcali-Sílica
Vidros	Álcali-Sílica
Calcita	Álcali-Carbonato

Quadro 4 - Minerais reativos mais comuns e suas reações químicas

Fonte: Salomão (2017)

O produto resultante dessa reação, quando em contato com a água, produz um gel higroscópico que gera tensões de tração na matriz do concreto, causando fissuras, trincas, aumento de permeabilidade e diminuição da resistência à compressão e à tração (HASPARYK, 2011).

Na Figura 10, mostra-se a presença do gel exsudado da reação no poro de argamassa, assim como a região de interface entre agregado e argamassa onde ocorre a reação. De acordo

com Mizumoto (2009), o gel desenvolve-se em vários estágios; em um deles, deixa de ser gelatinoso e transforma-se em sólido com uma grande diversidade na composição química, designado de Xerogel.

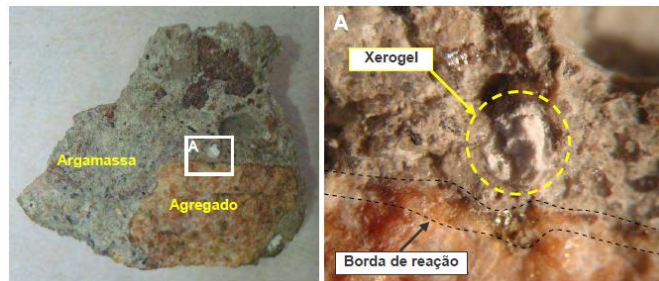


Figura 10 - Detalhe do gel em poro preenchido
Fonte: Mizumoto (2009)

Hasparyk (2005) afirma que os danos causados ao concreto devido à RAA afeta significativamente a sua durabilidade, uma vez que as fissuras possibilitam a entrada de agentes agressivos, comprometendo a sua vida útil.

2.3 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END) PARA O ESTUDO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Os Ensaio Não Destrutivos (END) possibilitam analisar os elementos de uma edificação antes e durante o seu uso, auxiliando no controle da durabilidade e prevenindo a edificação contra problemas futuros, pois podem apontar a necessidade da substituição ou recuperação de um elemento antes da sua ruptura (BAUTZ et al., 2014). Segundo Molero Armenta et al. (2009), foram desenvolvidos para auxiliar no levantamento de informações das propriedades reais dos materiais usados nas edificações, sendo bastante utilizados na avaliação dos materiais cimentícios.

De acordo com Sahuinco (2011), é possível tomar decisões em relação à situação da estrutura apenas tomando como base os ensaios não destrutivos. Isso porque o objetivo desses ensaios é fazer uma avaliação qualitativa e quantitativa das características dos materiais em serviço que compõem a estrutura.

De acordo com a norma britânica BS EN 12504-2 - Testando concreto em estruturas. Teste não destrutivo. Determinação do número de rebote (BSI, 2012), a escolha do método de ensaio adequado deve estar baseada nos seguintes critérios:

- a) custos diretos e indiretos envolvidos na realização dos ensaios;
- b) condições da zona a investigar da estrutura;
- c) acessibilidade para a realização de um determinado ensaio;
- d) efeito do possível dano produzido ao elemento estrutural investigado;
- e) precisão requerida na estimativa da resistência à compressão do concreto.

Os END fornecem informações importantes a respeito das características geométricas e da resistência dos elementos estruturais. Com eles, é possível detectar fissuras, avaliar a dureza superficial da estrutura, a profundidade de carbonatação e a penetração de cloretos. Além disso, é possível medir os potenciais e a velocidade de corrosão e fazer levantamento das armaduras no concreto (TUTIKIAN; PACHECO, 2013). Uma característica importante dos END é que eles podem ser feitos várias vezes em um mesmo local, possibilitando um acompanhamento da estrutura durante a vida útil (NEVILLE, 1997).

No Brasil, os END mais utilizados são a esclerometria e o ensaio de ultrassom, devido à economia e à facilidade de execução. Outra justificativa é a existência de normas brasileiras específicas para estes ensaios (PALÁCIOS, 2012).

2.3.1 Inspeção Preliminar

Fazer uma inspeção na edificação, antes de qualquer ensaio, é fundamental para o correto diagnóstico das manifestações patológicas. Através da inspeção, é possível fazer um levantamento completo do objeto de estudo e identificar as principais manifestações patológicas existentes para uma análise mais criteriosa (TUTIKIAN; PACHECO, 2013). Segundo Reygaerts (1980 apud, GUIMARÃES; CARASEK; CASCUDO, 2003), os resultados de um diagnóstico de qualidade são aprimorados por meio de ensaios de campo ou laboratório, mas é por intermédio da inspeção preliminar que se consegue ter as primeiras ideias a respeito do problema.

2.3.2 Esclerometria

O ensaio de esclerometria é utilizado para avaliar a dureza superficial do concreto. Consiste em um procedimento padronizado de impactar uma superfície com uma dada energia de impacto. O aparelho indica o índice esclerométrico gerado por meio do rebote ou reflexão de uma massa padrão após o golpe no concreto (ARAÚJO, 2018).

A NBR 7584 - Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio (ABNT, 2012) define o índice esclerométrico como um valor obtido através do impacto de um esclerômetro de reflexão sobre uma área do ensaio, fornecido diretamente pelo aparelho correspondente ao número de recuo do martelo. Para determinar a resistência do concreto, através do índice esclerométrico, são utilizadas curvas que relacionam o valor do rebote e a resistência à compressão. Geralmente essas curvas são fornecidas pelo fabricante.

O aparelho usado é conhecido por esclerômetro de reflexão de Schmidt, formado por um martelo que transmite uma carga ao êmbolo. Esse equipamento e sua operacionalidade estão representados na Figura 11.

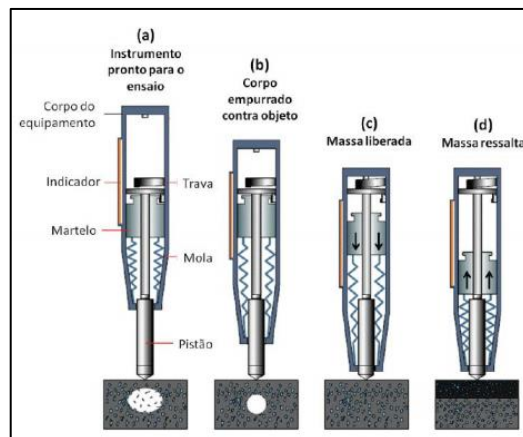


Figura 11 - Esquema ilustrando a operacionalidade do esclerômetro de reflexão
Fonte: adaptado de Mehta e Monteiro (2008, P. 389)

Esse ensaio pode ser feito na horizontal, vertical (para cima ou para baixo) e em qualquer ângulo intermediário. No entanto, devido à interferência da gravidade no rebote, o resultado será diferente para cada situação de ensaio. Logo, são fornecidas pelo fabricante curvas de correlações diferentes para cada posição de ensaio (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

De acordo com NBR 7584 (ABNT, 2012), todo aparelho esclerômetro deve possuir a sua curva de correlação fornecida pelo fabricante. Porém, geralmente esta curva refere-se a um concreto específico, que pode ser diferente do produzido no Brasil. Assim, para resultados mais precisos, a norma C805 / C805M-18 - Método de teste padrão para número de rebote de concreto endurecido (ASTM, 2018) recomenda que o índice esclerométrico seja correlacionado com resultados de ensaios à compressão de testemunhos extraídos da estrutura em análise.

Conforme Lopes (2016), as principais vantagens em realizar este ensaio são as facilidades de operar, transportar e manusear o equipamento e a rapidez dos resultados do ensaio. Outra vantagem a se considerar é o fato de que este ensaio não causa dano ao concreto ensaiado, podendo causar, no máximo, algumas marcações quando o concreto está com baixa resistência ou pouca idade.

Algumas desvantagens são apontadas pela norma BS EN 12504-2 (2012), onde cita que este ensaio pode resultar em dados equivocados devido ao ensaio ser referente apenas a uma zona de 30 mm de profundidade, já que esta região pode ser afetada pelo endurecimento localizado, em virtude dos efeitos de carbonatação, quando o concreto tem mais de 3 meses de idade. Outro fator que pode gerar resultados equivocados é a presença de uma grande quantidade de partícula de agregado ou alto índice de espaços vazios logo abaixo da superfície ensaiada.

2.3.3 Avaliação do Nível de Carbonatação em Concreto

Como já citado anteriormente, uma das principais causas de deterioração precoce do concreto armado é a corrosão das armaduras, que pode ser provocada pelos efeitos da carbonatação no concreto.

O ensaio para medição da profundidade de carbonatação do concreto consiste em submeter uma superfície, recentemente exposta (fraturada) do concreto, com indicador químico à base de fenolftaleína ou timolftaleína, e verificar a cor que apresenta na superfície. Em função da cor é possível estimar o pH do concreto e obter uma clara evidência do avanço da frente de Carbonatação para o interior do cobrimento de concreto. A cor violeta indica que o concreto está com pH superior a 13 e a superfície sem cor indica concretos carbonatados com pH inferior a 9 (SAHUINCO, 2011).

Um exemplo deste ensaio é mostrado na Figura 12, na qual pode ser observada a região com o concreto carbonatado.



Figura 12 - Dimensão da frente de carbonatação
Fonte: Pires (2016)

Rilem (1988 apud, AGASSI, 2011) cita que a definição entre a face carbonatada e não carbonatada é mais evidente nas primeiras 24h após a inspeção do indicador, e que a precisão deve ser de 0,5 mm. Abaixo disso deve ser descartado.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão apresentados os procedimentos a serem seguidos para a realização dos ensaios.

3.1 TIPOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa científica classifica-se em vários tipos, de acordo com o nível de contribuição em conhecimento para a ciência. Esta pesquisa foi dividida quanto à finalidade, ao objetivo, à abordagem e aos procedimentos.

Quanto à finalidade, enquadra-se como básica estratégica, ou seja, tem a possibilidade de produzir um conhecimento útil que possa ser utilizado em novos estudos. Em relação aos objetivos, comporta-se como descritiva, uma vez que esclarece ao máximo os assuntos já conhecidos, através da revisão bibliográfica, e estuda as características de um grupo, com preocupação na atuação prática.

Em relação à abordagem, é quali-quantitativa, visto que, serão utilizados métodos matemáticos, coleta de dados e o campo observacional como fonte direta para coleta das informações.

Sobre o procedimento, classifica-se como bibliográfica, documental e estudo de caso. A pesquisa bibliográfica é realizada a partir de fontes secundárias em livros, revistas e plataformas digitais de acervo acadêmico. A documental consiste na colheita de dados em documentos, escritos ou não; e o estudo de caso se diferencia dos anteriores por não se limitar apenas à colheita de dados teóricos, abrangendo também observações e experimentos.

3.2 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo trata-se de um reservatório elevado construído em concreto armado em 1978, localizado na zona urbana do município de Itabaianinha/SE, na seguinte coordenada geográfica UTM DATUM Zona 24L WGS 84: X= 632815.79 Y= 8752625.95. Na Figura 13 há a representação da localização do reservatório.



Figura 13 - Localização do reservatório

Fonte: Google Earth (2021)

Algumas das características do reservatório estão expressas a seguir:

- a) Construído em concreto armado, f_{ck} 180 kgf/cm²;
- b) Altura total de 23,21m (altura da fundação ao topo);
- c) Capacidade para 400m³;
- d) 06 sapatas isoladas (180cm / 200cm / var);
- e) 06 pilares (30cm / 50cm);
- f) 04 cintas de concreto (20cm / 40cm);
- g) 01 patamar de laje com espessura de 12cm.

Na Figura 14, pode-se observar o reservatório que será objeto de estudo desta pesquisa e identificar alguns dos elementos citados acima.



Figura 14 - Reservatório elevado

Fonte: Autor (2021)

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico sobre as patologias em construções, destacando as principais manifestações encontradas em edificações e elementos construtivos de concreto armado, bem como suas principais características e possíveis causas. Além disso, foi feita uma revisão bibliográfica de alguns ensaios não destrutivos (END) na literatura atual, com intuito de descrever a importância e as vantagens ao utilizar END em análise de manifestações patológicas em edificações.

Depois da fundamentação, a etapa seguinte foi a realização dos ensaios não destrutivos *in loco* de acordo com os procedimentos a seguir:

3.3.1 Inspeção preliminar

A inspeção preliminar permite conhecer a natureza e a origem das manifestações patológicas, que também serve como base para um diagnóstico mais detalhado. Na realização desta etapa, foi utilizada a Ficha de Inspeção (Apêndice A) para a caracterização das manifestações patológicas existentes.

3.3.2 Esclerometria

Este ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 7584:2012. Para isso, foi utilizado o rebote de concreto Schmidt martelo, mais conhecido por esclerômetro.

No geral o esclerômetro deve ser escolhido de acordo com as características do concreto e o grau de precisão desejado nos resultados. Neste ensaio será utilizado o esclerômetro analógico schmidt – tipo N (Figura 15) do laboratório do Instituto Federal de Sergipe, Campus Estância.

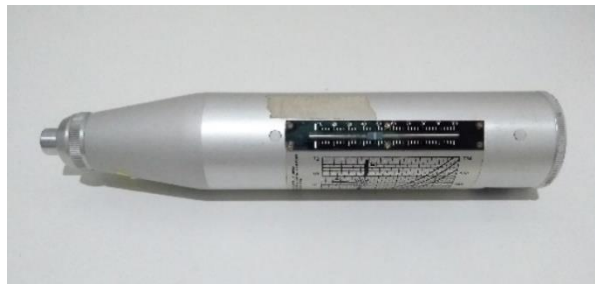


Figura 15 - Esclerômetro analógico schmidt – Tipo N
Fonte: Autor (2021)

Para a realização deste ensaio, a NBR 7584 (ABNT, 2012) recomenda os seguintes pontos:

- a) calibrar o aparelho e obter o coeficiente de correção do índice esclerométrico, antes da realização do ensaio ou após 300 impactos. A calibragem deve acontecer até obter índice esclerométrico médio maior que 75;
- b) a superfície de ensaio deve estar seca, limpa e preferencialmente plana, devendo evitar superfície áspera e irregular. Caso a superfície a ser ensaiada esteja úmida e/ou carbonatada, deve ser adequadamente preparada podendo utilizar coeficiente de correção, desde que informe nos resultados;
- c) a área a ser ensaiada deve ser preparada com polimento enérgico e toda poeira seja removida a seco. Deve obedecer a uma distância de no mínimo 50 mm de cantos de arestas dos elementos estruturais e estar contida entre 8 000 mm² (aproximadamente 90x90 mm) e 40 000 mm² (aproximadamente 200x200 mm);
- d) devem ser evitados ensaios em área sobre armaduras, bolhas e áreas similares, pois não representam o concreto em avaliação;
- e) em cada área do ensaio, devem ser aplicados 16 impactos, não sendo permitido a aplicação de mais de um golpe no mesmo local;
- f) utilizar gabarito, conforme a Figura 16, de forma que os impactos fiquem uniformemente distribuídos na área de ensaio;

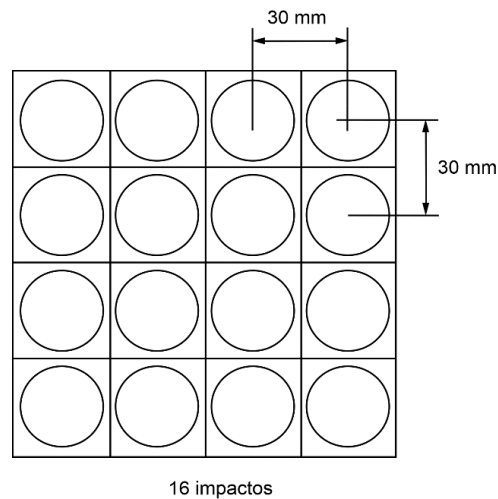


Figura 16 - Gabarito utilizado em ensaio de esclerometria

Fonte: NBR 7584 (ABNT, 2012)

g) evitar área de ensaio em elementos com dimensão menor que 100 mm, e, sempre que possível, o ensaio deve ser realizado na seção de maior inércia da peça, conforme ilustrado na Figura 17;

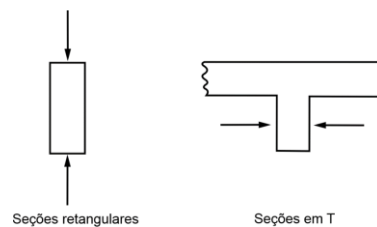


Figura 17 - Posições recomendadas para aplicação do esclerômetro

Fonte: NBR 7584 (ABNT, 2012)

- e) deve proceder da seguinte maneira para definir o resultado do ensaio:
- calcula a média aritmética dos 16 valores individuais;
 - despreza os índices esclerométricos individuais que estejam afastados em mais de 10% do valor médio e calcular uma nova média;
 - o ensaio deve ser desconsiderado se o índice esclerométrico médio final não for obtido com pelo menos cinco valores individuais;
 - obter o índice esclerométrico médio efetivo de cada área de ensaio, através da Equação 1.

$$I_{E\alpha} = k.I_E \quad (1)$$

Onde:

$I_{E\alpha}$ = índice esclerométrico médio efetivo;

k = coeficiente correção do índice esclerométrico;

I_E = índice esclerométrico médio.

- Estimar a resistência à compressão por meio do ábaco fornecido pelo fabricante.

3.3.3 Avaliação do Nível de Carbonatação em Concreto

Este ensaio foi realizado a partir do método colorimétrico, que consiste em avaliar o nível de carbonatação em concreto, por meio do indicador químico de pH, já que esse, em contato com concreto alcalino, adquire colorações diferentes (PEREIRA, 2019).

A substância utilizada será a fenolftaleína a 1%, obtida por meio da dissolução de 1g do reagente em 50 cm³ de etanol e diluída em 30 cm³ de água destilada, como indicado no trabalho de Castro (2003).

Ainda de acordo com o autor, ao aspergir a substância em contato com o concreto, este assume a coloração vermelho carmim para pH maior que 9,5 e permanece com coloração natural em regiões carbonatadas. Dessa forma é possível determinar a frente de carbonatação do concreto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos em campos, mediante a inspeção preliminar e alguns ensaios não destrutivos, como a esclerometria e avaliação da profundidade de carbonatação.

4.1 INSPEÇÃO PRELIMINAR

Para uma melhor caracterização das possíveis manifestações patológicas presentes no reservatório, realizou-se um levantamento *in loco* nos elementos que compõem a estrutura. Acompanhe no Quadro 5 o resultado deste levantamento.

Na Figura 18, é possível assimilar as faces de cada pilar mencionado no Quadro 5.

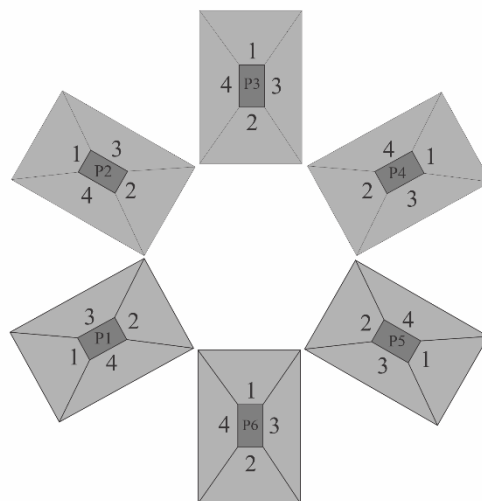


Figura 18 - Localização dos pilares
Fonte: Autor (2021)

Estrutura	Manifestações Patológicas				
	Segregação	Desagregação	Lixiviação	Fissuras	Desplacamento/ Exposição de armadura
Pilar 01	x		x	x	x
Pilar 02	x				x
Pilar 03	x			x	x
Pilar 04	x		x		x
Pilar 05	x			x	x

Pilar 06	x				x
Viga			x		x
Cinta 01		x			
Cinta 02				x	x
Cinta 03					x
Cinta 04				x	x
Laje de Fundo			x		
Laje da Tampa					
Laje do Patamar				x	x

Quadro 5 - Principais manifestações patológicas existentes no reservatório

Fonte: Autor (2021)

4.1.1 Pilares

A estrutura do reservatório é formada por 06 (seis) pilares em concreto armado com dimensão de 30x50 cm. Como se pode observar no Quadro 5, todos os pilares apresentaram exposição de armadura em processo de corrosão com o respectivo deslocamento do concreto em diversas regiões, sendo mais predominantes na parte superior. Isso pode estar relacionado ao fato da corrosão expandir as armaduras, que resulta em tensões no concreto, de forma a promover a fissuração e posterior deslocamento.

Tais processos corrosivos na parte superior dos pilares podem ter relação com a umidade excessiva nesta região, devido ao mau estado de conservação da tubulação do reservatório, que apresenta pontos de infiltração de água. Além disso, estão presentes em todos os pilares vários indícios de segregação do concreto, principalmente na base, como mostra a Figura 19. A segregação também pode ter sido ocasionada por falhas no lançamento do concreto durante a execução da obra.



Figura 19 - Segregação no pilar 01

Fonte: Autor (2021)

Nas regiões onde há concentração de corrosão é possível observar a presença de fissuras, mas isso se deve ao início da expansão da armadura por conta da corrosão.

Outra falha construtiva observada está no cobrimento das armaduras dos pilares, já que à norma em vigência na época do projeto, a NB 1 - Cálculo e execução de obras de concreto armado, cargas móveis em pontes rodoviárias e barra de aço torcidas a frio para concreto armado (ABNT, 1960), recomenda cobrimento mínimo de 2 cm para pilares expostos ao ar livre, e o cobrimento máximo observado foi 1,25 cm (Figura 21). Na Figura 20, é possível observar as manifestações patológicas presentes no reservatório, inclusive as citadas acima.



Figura 20 - Vista das manifestações patológicas em pilares
Fonte: Autor (2021)



Figura 21 - Verificação do cobrimento da armadura
Fonte: Autor (2021)

4.1.2 Viga de Fundo

A única viga do reservatório encontra-se com o concreto em situação de deslocamento e armaduras em processos de corrosão, principalmente as armaduras transversais. Mais uma vez, as manifestações presentes estão relacionadas ao excesso de umidade, devido a vazamentos

nas tubulações do reservatório. Como a umidade provoca a eflorescência, estas também estão presentes na viga. As manifestações patológicas observadas *in loco* podem ser visualizadas na Figura 22.



Figura 22 - Vista da manifestações patológicas existentes na viga
Fonte: Autor (2021)

4.1.3 Cintas

Ao longo da extensão dos pilares do reservatório, existem 04 (quatro) cintas em concreto armado com seção transversal de 20x40 cm. De acordo com o projeto (Figura 23), a primeira cinta está abaixo do nível do terreno, porém atualmente boa parte encontra-se exposta com a presença de desagregação do concreto, como se observa na Figura 24, podendo ser consequência da erosão do solo e da umidade.

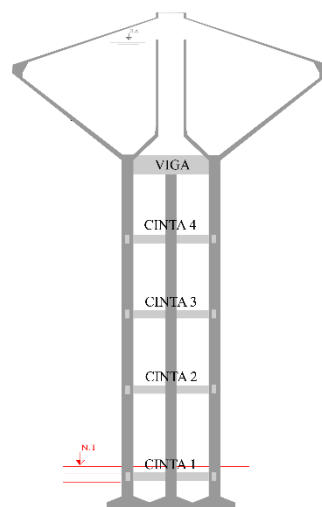


Figura 23 - Corte longitudinal do reservatório
Fonte: Autor (2021)



Figura 24 - Cinta em concreto armado
Fonte: Autor (2021)

As demais cintas estão localizadas acima do nível do terreno (Figura 23), apresentam poucas fissuras, alguns pontos de deslocamentos do concreto e corrosão das armaduras, principalmente as transversais. Novamente, a pouca espessura do cobrimento das armaduras pode ter contribuído para o surgimento dos vários pontos de corrosão. Estas manifestações podem ser observadas na Figura 25.



Figura 25 - Presença de manifestações patológicas nas cintas do reservatório
Fonte: Autor (2021)

4.1.4 Patamar

O reservatório possui um patamar com laje em concreto armado ($e = 12$ cm) próximo ao topo dos pilares. Devido à altura que se encontra, o único registro feito foi o da face inferior, mas, mesmo assim, pode-se notar bastante deslocamento do concreto, corrosão em armaduras, e fissuras ao longo de sua extensão. Na Figura 26, é possível observar o estado avançado das manifestações patológicas. Além disso, percebe-se uma abertura na laje, não existente em projeto, porém feita para a passagem da tubulação de alimentação do reservatório, provocando

maior deterioração e exposição das armaduras. Nesta região, há muitos pontos de vazamentos na tubulação provocando constante umidade, sendo a provável causa do estado avançado das manifestações patológicas presentes.



Figura 26 - Vista inferior da laje do patamar
Fonte: Autor (2021)

4.1.5 Lajes do fundo e lajes da tampa

O fundo do reservatório é formado por 06 (seis) lajes maciças em concreto armado. Na Figura 27, temos a visualização destas lajes e é possível identificar alguns trechos com o concreto em processo de lixiviação, manifestações patológicas causadas devido à umidade, que transportam os salinos na superfície do concreto, resultando em eflorescência. No geral, as lajes estão em bom estado de conservação, apresentando apenas a eflorescência do concreto.



Figura 27 - Vista das lajes de fundo do reservatório
Fonte: Autor (2021)

Não foi possível verificar a existência de manifestações patológicas nas lajes da tampa, devido à altura que elas estão localizadas e à dificuldade de acesso.

4.2 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Para a realização deste ensaio, foi utilizado o esclerômetro fabricado pela PROCEQ, tipo N, com energia de percussão de 2,207 Nm, indicado para controle de concreto nos casos convencionais de edificações. O ensaio foi realizado seguindo os parâmetros da ABNT NBR 7584:2012, que recomenda a execução de 16 impactos por ensaio. E assim ocorreu nos 06 (seis) pilares do reservatório, sendo dois ensaios por pilar em faces distintas.

A escolha da região ensaiada teve como critérios as recomendações da norma supramencionada. Dessa forma, foi dada prioridade às direções com maiores inércias que estavam livres de armaduras, espaços vazios, concentração de agregado e umidade.

No entanto, em alguns pilares, não foi possível executar o ensaio na direção de maior inércia, devido a irregularidades ou imperfeições na superfície, que, na maioria das vezes, foram provocadas pela segregação do concreto e pelos espaços vazios (Figura 28). No pilar 1 e pilar 4, há tubulações próximo à face recomendada (Figura 29), logo, o ensaio foi realizado em outras faces, livres de obstáculos e de irregularidades.



Figura 28 - Pilar 02 com o concreto segregado
Fonte: Autor (2021)

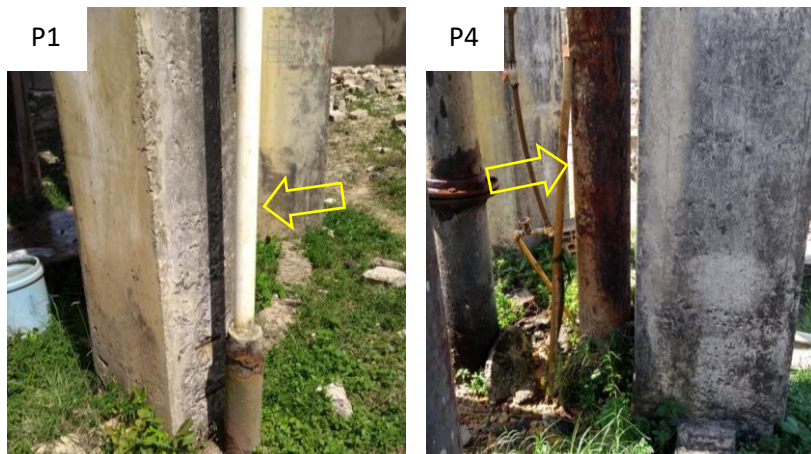


Figura 29 - Presença de segregação e tubulação em pilar 1 e pilar 4
Fonte: Autor (2021)

A região do ensaio foi polida com pedra abrasiva (Figura 30), por meio de movimentos circulares. Em seguida, toda a poeira ou o pó superficial foi eliminado a seco.



Figura 30 - Pedra abrasiva
Fonte: Autor (2021)

Após o polimento, com o auxílio de um gabarito, foi realizada a marcação dos pontos de ensaio para servir de parâmetro no momento da realização do ensaio (Figura 31), garantindo uma maior precisão dos dados coletados.



Figura 31 - Locação da área de ensaio
Fonte: Autor (2021)

A ABNT NBR 7584:2012 prevê que antes da utilização do esclerômetro seja feita a sua calibração e determinado o coeficiente de correção do índice esclerômetro, porém, devido à ausência da bigorna de aço, material específico para este fim, esta etapa não foi realizada.

O ensaio de esclerometria foi realizado em todas as regiões predefinidas, conforme mostra a Figura 32.



Figura 32 - Realização do ensaio de esclerometria
Fonte: Autor (2021)

Na Tabela 1 pode-se observar o resultado do ensaio de esclerometria em todos os pilares.

Tabela 1 - Índices esclerométricos obtidos em ensaio

Elemento Estrutural	Face	Impactos															
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°
Pilar 01	02	52	50	44	56	50	48	56	54	52	44	54	54	54	54	50	52
	04	54	50	40	42	54	44	48	52	46	46	40	46	50	54	46	50
Pilar 02	02	62	56	50	60	51	56	50	58	42	52	48	50	54	56	48	50
	03	54	58	50	56	62	54	56	56	52	50	44	52	54	52	54	46
Pilar 03	03	62	56	56	46	58	58	56	58	52	52	56	56	56	58	50	56
	04	48	56	56	48	54	60	46	50	54	60	52	46	54	54	56	46
Pilar 04	01	48	52	54	52	48	46	54	54	54	52	48	54	48	54	52	56
	03	50	48	50	50	50	58	56	58	54	52	54	50	52	58	52	50
Pilar 05	01	54	50	46	48	56	48	46	54	54	54	52	50	54	50	54	50
	02	56	58	56	56	58	56	58	58	56	56	54	58	54	54	54	54
Pilar 06	02	54	40	46	42	50	44	50	42	42	52	44	44	44	46	42	46
	04	52	50	56	50	52	54	46	50	54	54	54	54	52	50	52	52

Fonte: Autor (2021)

Como citado anteriormente, a partir do índice esclerométrico é possível determinar a resistência à compressão através de tabelas de convenções, como à ilustrada na Figura 33.

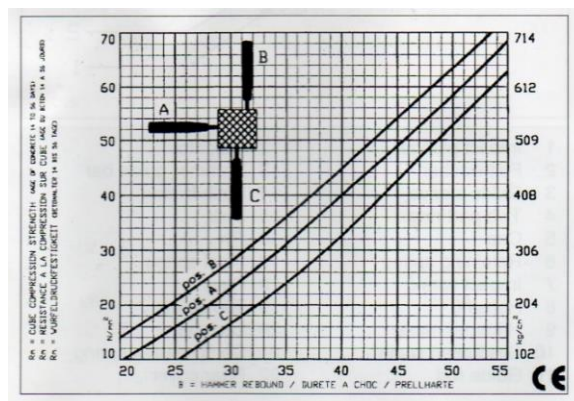


Figura 33 - Curva esclerométrica

Fonte: Proceq SA (2015)

Assim, com o uso da tabela ilustrada na Figura 33 realizou-se a convenção dos índices esclerométricos médios dos ensaios realizados em campo, cujo, índices estão expressos na Tabela 1.

Na Tabela 2 pode-se conferir o resultado desta convenção e a resistência a compressão estimada em cada pilar.

Tabela 2 - Resistência à compressão estimada por meio do índice esclerométrico

Elemento Estrutural	Face	Índice esclerométrico (Média)	Resistência à compressão estimada	
			fc (Mpa)	Média (Mpa)
Pilar 01	02	51,5	61,0	48,0
	04	37,5	35,0	
Pilar 02	02	45,1	49,0	53,0
	03	49,3	57,0	
Pilar 03	03	51,5	61,0	55,0
	04	45,0	49,0	
Pilar 04	01	51,6	61,0	52,0
	03	41,8	43,0	
Pilar 05	01	51,3	60,5	65,3
	02	56,0	70,0	
Pilar 06	02	38,9	38,0	50,0
	04	52,0	62,0	
Média		47,6	53,2	-
Desvio padrão		5,9	11,2	-
Coeficiente de variação		12,4%	21,1%	-

Fonte: Autor (2021)

Os ensaios realizados no pilar 01 apresentaram resultados distintos. Os índices esclerométricos do ensaio na face 02 apresentaram maiores homogeneidade e maiores intensidades em relação aos obtidos na face 04, que apresentaram maior dispersão, sendo necessário eliminar o 1º, 5º e 14º impacto por apresentar divergência maior que 10% em relação à média, como recomenda a norma vigente. Entre os índices médios, há uma variação de 27,2%, no entanto, essa alta variação é consequência da eliminação dos índices superiores a 10% do valor médio, já que correspondia aos maiores valores do ensaio.

No pilar 02, alguns índices superaram a média em mais de 10%, sendo necessário o ajuste e um novo cálculo da média. O ensaio de esclerometria mostrou que o pilar está com resistência adequada, mas, conforme pode ser observado na Figura 34, acima da região ensaiada, há muita exposição de armadura, principalmente as armaduras transversais. As causas de tais manifestações patológicas podem ser o excesso de umidade, devido a pontos de infiltração, e a reduzida espessura do cobrimento.



Figura 34 - Vista do pilar 02
Fonte: Autor (2021)

O ensaio no pilar 03 foi realizado em direções opostas às de maiores inércias por apresentarem condições mais adequadas para a realização do ensaio. Após os ensaios, os índices apresentados foram aceitáveis e apresentaram resistência média de 55 Mpa, sendo um dos maiores valores encontrados. No entanto, várias regiões na parte superior apresentaram pontos de deslocamento do concreto devido à corrosão das armaduras, como pode ser observado na Figura 35.



Figura 35 - Exposição de armadura no pilar 03
Fonte: Autor (2021)

O ensaio de esclerometria no pilar 04 foi realizado em faces perpendiculares (face 01 e 03) devido a irregularidades nas outras faces. Os impactos 6º, 8º e 14º na face 03 apresentaram valores 10% maior que a média, desta forma foram eliminados. Este ensaio apresentou uma diferença de 19% entre os índices médios e uma resistência média de 52 Mpa.

No pilar 05, os ensaios foram realizados nas faces de maiores inércias (face 01 e 02). Todos os índices esclerométricos apresentaram uma variação aceitável, já que nenhum superou a média em mais de 10%, sendo o único pilar a apresentar tais características. A regularidade da região ensaiada quanto a não concentração de agregado e espaços vazios podem ter contribuído para estes resultados satisfatórios, como mostra a Figura 36.



Figura 36 - Região de ensaio do pilar 05
Fonte: Autor (2021)

Os índices esclerométricos dos ensaios no pilar 06 apresentaram uma diferença de 26,9%, e, junto com o resultado do pilar 01, manifestaram-se as maiores divergências. Esta diferença pode ser consequência da obrigatoriedade de não computar os índices dos impactos 1º e 10º da face 02, já que apresentaram valores muito acima da média. Apesar desta variação, os resultados apresentaram uma resistência média considerável de 50 Mpa.

Como a ABNT NBR 7584:2012 não traz nenhum parâmetro estatístico de controle dos valores de ensaios, foram considerados os das normas americana e britânica. A norma americana ASTM C 805 (2018) recomenda um desvio padrão máximo de 2,5. Neste ensaio, houve um desvio padrão de 11,2. Outro parâmetro comparativo é o coeficiente de variação, que a norma britânica BS EN 12504-2 (2012) recomenda estar entre 2,0% e 15,0% para um concreto homogêneo e de boa qualidade. O presente ensaio obteve um coeficiente de variação de 21,1%, sendo acima do recomendado por esta normatização.

A apresentação destes índices elevados pode ser consequência da heterogeneidade do concreto de uma betonada para outra, lançamento irregular e/ou concentração elevada de agregado graúdo.

4.3 ENSAIO DE CARBONATAÇÃO

Devido ao reservatório ser de propriedade privada e estar em operação, havia restrições quanto à quantidade de abertura que poderiam ser feitas nos pilares e cintas para a realização do ensaio de carbonatação. Dessa forma, foram feitas apenas três aberturas, sendo duas no pilar 06 e uma na primeira cinta. Após os ensaios, as mesmas foram recompostas com graute.

As Figura 37 e Figura 38 mostram os locais que foram realizados os ensaios de carbonatação.



Figura 37 - Ensaio de carbonatação em cinta do reservatório
Fonte: Autor (2021)



Figura 38 - Ensaio de carbonatação no pilar 06
Fonte: Autor (2021)

Percebe-se que toda região atingida pela solução assumiu a coloração violeta, o que indica que o concreto não está carbonatado.

Além disso, com o auxílio de um paquímetro, determinou-se a espessura do cobrimento das armaduras no pilar e na cinta, sendo 12,5 mm e 13,0 mm respectivamente.

4.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

É possível avaliar o estado atual da estrutura por meio das observações feitas durante a inspeção preliminar e dos resultados obtidos nos ensaios não destrutivos. Assim, o Quadro 6 traz um levantamento qualitativo da estrutura considerando os resultados dos ensaios realizados.

Inspeção preliminar	
Desempenho estrutural	Obra em estado de alerta na região superior. Pilares e viga com fissuras, deslocamento do concreto e armadura deteriorada.
Desempenho funcional	Estrutura estável. Tubulação com vazamento.
Desempenho de durabilidade	Deslocamento do concreto, permitindo a exposição de armaduras, lixiviação e umidade constante, acelerando a oxidação das armaduras, cobrimento da armadura insuficiente, influenciando diretamente na diminuição da durabilidade do reservatório.
Uso de método de ensaios não destrutivos	
Esclerometria	Resistência à compressão do concreto, superior ao projeto, concreto homogêneo e boa qualidade nos locais de ensaio.
Carbonatação	Concreto não carbonatado, algumas regiões porosas e cobrimento insuficiente.

Quadro 6 - Síntese dos resultados do estudo de caso

Fonte: Autor (2021)

É necessário destacar a falta de coerência entre a resistência à compressão apontada por meio do ensaio de esclerometria e a indicada em projeto. Porém, pode acontecer do concreto utilizado para a concretagem dos pilares realmente estar em maior resistência que a exigida em projeto, já que não foi possível ter acesso a nenhum material que, de fato, comprove a resistência do concreto utilizado.

5 CONCLUSÃO

A utilização dos Ensaio Não Destrutivos na análise das manifestações patológicas presentes no reservatório apresentou resultados aceitáveis, uma vez que os dados gerados pelos ensaios puderam ser analisados e possibilitaram a obtenção de informações sobre a atual situação da estrutura quanto às manifestações patológicas existentes. Apesar do ensaio de esclerometria ter indicado resistência acima da prevista, ainda assim demonstrou ser aplicável, quando se pretende realizar uma rápida avaliação da resistência à compressão do concreto.

Em campo, teve-se a clareza do estado avançado das manifestações patológicas presentes no reservatório, porém o fato de não ter acesso a dados da época da sua construção dificultou a comparação dos resultados. Tais informações, como a resistência do concreto utilizado, o traço deste concreto, a origem dos agregados e o controle tecnológico adotado poderiam auxiliar na análise dos dados e contribuir para um diagnóstico mais preciso das causas das manifestações patológicas encontradas.

Tendo em vista o alcance de maiores informações, sugere-se a complementação deste estudo com a realização de novas avaliações das manifestações patológicas presentes no reservatório utilizando outros END, visto que o estado avançado das manifestações, principalmente a corrosão em armaduras, necessita de uma análise mais profunda das propriedades químicas do aço e das propriedades físicas do concreto. Neste sentido, será válido o avanço desta pesquisa com a realização de outros ensaios, a exemplo do ensaio de ultrassom e potencial de corrosão.

Em geral, esta pesquisa tem sua contribuição na realização de novos estudos em que o foco seja a análise de manifestações patológicas por meio da utilização de END, visto que traz diversas informações a respeito das manifestações patológicas presentes em edificações e também resultados práticos da aplicação de alguns END. Além disso, assegura tais ensaios como uma ferramenta capaz de gerar resultados rápidos e seguros em se tratando da análise de manifestações patológicas nas edificações, principalmente em estruturas de concreto armado.

REFERÊNCIAS

- AGASSI, J. D. **Avaliação da carbonatação em concretos com cinza do bagaço-da-cana de açúcar**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.
- ALMEIDA, R. **Manifestação patológica em prédio escolar: uma análise qualitativa e quantitativa**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.
- AMBROSIO, T. S. **Patologia, tratamento e reforço de estruturas de concreto no metrô de São Paulo**. 2004. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C805 / C805M-18: Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.
- ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- ARALDI, E. **Reforço de pilares por encamisamento de concreto armado: eficiência de métodos de cálculo da capacidade resistente comparativamente a resultados experimentais**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- ARANHA, P. M. S. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado na região amazônica**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- ARAÚJO, C. C. **Estudo de Correlações entre Propriedades do Concreto e Ensaios não Destrutivos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NB - 1: Cálculo e execução de obras de concreto armado, cargas móveis em pontes rodoviárias e barra de aço torcidas a frio para concreto armado**. Rio de Janeiro: ABNT, 1960.
- _____. **ABNT NBR 13752: Perícias de engenharia na construção civil**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- _____. **ABNT NBR 15577-1: Agregados: reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- _____. **ABNT NBR 5674: Manutenção de edificações: requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estrutura de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **ABNT NBR 7584**: Concreto endurecido: avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

BASEGIO, T. M.; BERUTTI, F. A.; BERGMANN, C. P. Suscetibilidade à eflorescência de massas cerâmicas vermelhas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 14, 2000, São Pedro, SP. **Anais [...]**. Porto Alegre, UFRGS, 2000. p. 4801-4808.

BAUTZ, R. S.; MACIOSKI, G.; WEBER, S. L.; MOREIRA, A. R. Análise da qualidade do concreto em pilares de viadutos por meio de ensaios não destrutivos para fins de reabilitação. *In*: I CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 2014, Foz de Iguaçu. **Anais [...]**. Foz de Iguaçu: Alconpat Brasil, 2014.

BEZERRA, M. M. P.; ALBUQUERQUE, M.; CAVALCANTI, R. L. P.; MONTEIRO, E. C. B. Inspeção das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no edifício bom pastor em Garanhuns-PE. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Garanhuns-pe, v. 2, n. 3, p. 84-93, 28 ago. 2017. Disponível em: revistas.poli.br/index.php/rep/article/view/691/309. Acesso em: 19 de janeiro de 2021.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 12504-2**: Testing concrete in structures. Non-destructive testing. Determination of rebound number. 2012.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. 1 ed. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. São Paulo: Pini, 1988.

CARBALLAL JUNIOR, J. L. **Manifestações patológicas em edificações da região metropolitana do recife**: levantamento e análise de materiais e métodos de reparo ou reforço estrutural. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

CARDOSO, L. B. **Análise das manifestações patologias em pontes e viadutos no litoral norte do rio grande do sul**. 2018. Trabalho de Diplomação (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**: inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: PINI, 1997.

CASTRO, A. **Influência das adições minerais na durabilidade do concreto sujeito à carbonatação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2003.

CHAVES, N. F. P. M. **Análise e diagnóstico de trincas e fissurações em edificações**: estudo de caso em residência na cidade de Cardoso Moreira, RJ. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação Lato Sensu em Projeto, Execução e Manutenção de Edificações) - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2017.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado**: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul. 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

DUARTE, R. B. **Fissuras em alvenaria**: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação. CIENTEC – Boletim técnico n.25, Porto Alegre, 1998.

FERNANDES, P. H. C. **Estudo sobre a influência do massará no processo de formação de salitre em rebocos na região de Teresina – PI**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

FREITAS, H. T. A. **Avaliação do potencial da utilização da cinza da casca de arroz para mitigação de eflorescências em argamassas de revestimento**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2018.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABDR, 1996.

GIACOMELLI, D. V. **Principais patologias encontradas nos prédios da ufsm executados pelo programa reuni - campus SEDE**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

GOOGLE EARTH. CNES / Airbus Maxar Technologies. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

GRANATO, J. E. **Patologia das construções**. Cap. 7. [S. l: s.n.], [ca. 2002].

GUETTI, P. C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas do concreto autoadensável e do concreto autoadensável reforçado com fibras de aço**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerias, Belo Horizonte, 2012.

GUIMARÃES, L. E.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Proposta de metodologia para avaliação comparativa do grau de deterioração em edificações. In: VII CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN Y IX CONGRESO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, 2003, Mérida, México. **Anais** [...]. Mérida, México: [s.n], 2003.

HASPARYK, N. P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado**. 2005. Tese (Doutor em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

HASPARYK, N. P. **Reação álcali-agregado no concreto**. In: ISAIA, C. G. Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, Cap.27, p.933-1001, 2011.

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

HELENE, P.; FIGUEIREDO, E. P. **Introducción.** In: MANUAL DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN: REPARACIÓN, REFUERZO Y PROTECCIÓN. CYTED – XV-F, 2003, Introducción, p. 21-36.

HELENE, P. R. L. Vida útil das estruturas de concreto. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 4, CONGRESSO DE CONTROLE DA QUALIDADE, 6, 1997, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: CON PAT-97, 1997. v. 1, p. 1-30.

HERANI, T. S. A. G. **Patologias e tratamentos estruturais no metrô de São Paulo.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Construções Civis: Excelência Construtiva e Anomalias) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA, **IBAPE: Norma de Inspeção Predial Nacional.** São Paulo: IBAPE, 2012.

KAZMIERCZAK, C. S.; ZARA, L. Comparação entre metodologias utilizadas para a determinação da profundidade de carbonatação em argamassas. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON HIGH-PERFORMANCE CONCRETE, AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, Florianópolis, 1996. **Anais [...]**. Florianópolis, 1996. p.402-413.

KULAKOWSKI, M. P. **Contribuição ao estudo de carbonatação em concretos e argamassas compostos com adição de sílica ativa.** 2002. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

LOPES, Y. D. **Estimativa da resistência do concreto à compressão por meio de ensaios não destrutivos:** Estudo de caso. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

LORENZI, A. **Aplicação de redes neurais artificiais para estimativa da resistência à compressão do concreto a partir da velocidade de propagação do pulso ultrassônico,** 2009. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

LOTTERMANN, A. F. **Patologias em estruturas de concreto:** Estudo de Caso. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2013.

MARQUES, C. S. **Estudo dimensional, de resistência e da ocorrência de eflorescência em blocos cerâmicos empregados na construção civil do Distrito Federal.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2017.

MEDEIROS, M. H. F. **Ensaaios não destrutivos para estruturas de concreto.** Notas de Aula. Universidade Federal do Paraná, Curitiba: UFPR, 2013.

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

MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção**. João Pessoa: IFPB, 2017.

MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. **Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção - revisão**. São Paulo: Cerâmica v.52 n.321, 2006.

MILION, R. N. **Método para gestão da ocorrência de manifestações patológicas em edificações habitacionais**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

MIZUMOTO, C. **Investigação da reação álcali-agregado (RAA) em testemunhos de concreto e agregados constituintes**. 2009. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2009.

MOLERO ARMENTA, M. A.; SEGURA, I.; HERNÁNDEZ, M.; GARCIA IZQUIERDO, M. A.; ANAYA, J. Ultrasonic characterization of cementitious materials using frequencydependent velocity and attenuation. *In: NON-DESTRUCTIVE TESTING IN CIVIL ENGINEERING (NDTCE 2009)*, Nantes. **Annales [...]**. Paris: Confédération Française pour les Essais Non Destructifs, 2009.

MOURA, P. G. **Patologias das construções**. Notas de aulas ministrada na disciplina optativa patologia das construções no curso de engenharia civil. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

MUNIZ, D. C. C.; SANTOS, B.S.; GUIMARÃES, C.C. Manifestações patológicas no estádio municipal carmelito barbosa alves, Cruz das Almas-BA. *In: SEMINÁRIO BAIANO DE DURABILIDADE E DESEMPENHO DAS CONSTRUÇÕES*, 3., 2020. Salvador. **Anais [...]**. Salvador: [s.n], 2020. p.142-157.

NAZARIO, D.; ZANCAN, E. C. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal de Criciúma: Inspeção dos Sete Postos de Saúde**. 2011. Artigo Científico (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2011.

NEVILLE, A. M., BROOKS J. J. **Tecnologia do concreto**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Trad. GIAMUSSO, S. E. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

NUNES, L. M. **Desenvolvimento de aço microligado para a produção de vergalhão nervurado**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

PALÁCIOS, M. D. P. G. **Emprego de ensaios não destrutivos e de extração de testemunhos na avaliação da resistência à compressão do concreto**. 2012. Dissertação

(Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

PAULETTI, C. **Estimativa da carbonatação natural de materiais cimentícios a partir de ensaios acelerados e de modelos de predição**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PAZ, L. A. F.; COSTA, C. A.; PAULA, M. O.; ALMEIDA, W. J. D., FERNANDES, F. A. S. Levantamento de patologias causadas por umidade em uma edificação na cidade de Palmas – TO. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 174 – 180, jan./abr. 2016.

PEREIRA, F. C. **Estudo da carbonatação de concretos com adição de nanosílica**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. [S.l.]: Editora Departamento de Estruturas da EEUFMG – 1997.

PIRES, P. F. **Estudo da carbonatação avançada em concreto adições minerais**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto e ambiente urbano**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PROCEQ SA. **Operating manual**: concrete test hammer. 2015.

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

SALOMÃO, R. C. **Análise da influência do campo higrométrico sobre a reação álcali-agregado**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

SAMPAIO, M.B. **Fissuras em edifícios residenciais em alvenaria estrutural**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SANTOS, P. H. C; SILVA FILHO, A. F. **Eflorescência**: causas e consequências. Salvador: [s.n.], 2008.

SARTORTI, A. L. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SILVA, J. R. P. **Reação álcali-agregado: influência da granulometria do agregado.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2016.

SILVA, V. M. **Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SOUZA, S. A. **Influência do solo da fundação no surgimento de eflorescências em edificações no município de Caraúbas/Rn.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Caraúbas, 2018.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de Concreto.** São Paulo: PINI, 2009.

THOMAZ, Érico. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação.** São Paulo: PINI, 1989.

TUTIKIAN, B. F.; PACHECO, M. **Inspeção, diagnóstico e prognóstico na construção civil.** Boletim Técnico nº 01, Mérida, Mex.: Alconpat Brasil, 2013.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das edificações.** Porto Alegre: Sagra, 1991.

WOLYNEC, S. **Técnicas eletroquímicas em corrosão.** São Paulo: EDUSP – Editora da Universidade de São Paulo, 2003.

APÊNDICE A – Ficha do Ensaio Inspeção Visual

Estrutura	Manifestações Patológicas presentes no reservatório				
	Segregação	Desagregação	Lixiviação	Fissuras	Desplacamento/ Exposição de armadura
Pilar 01					
Pilar 02					
Pilar 03					
Pilar 04					
Pilar 05					
Pilar 06					
Viga					
Cinta 01					
Cinta 02					
Cinta 03					
Cinta 04					
Laje de Fundo					
Laje da Tampa					
Laje do Patamar					

Observações:

Data: ___ / ___ / ___

Responsável pela visita

APÊNDICE B – Ficha do Ensaio de Esclerometria

ÍNDICES ESCLEROMETRICOS																				
Elem. Estrut ural	Face	Impactos																Médi a 01	Média 02	N/ mm ²
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°			
Pilar 1																				
Pilar 2																				
Pilar 3																				
Pilar 4																				
Pilar 5																				
Pilar 6																				

Observações:

Data: ____ / ____ / ____

Responsável pelo ensaio