



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
GABRIEL DUQUE DE ALMEIDA NETO

AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS PRESENTES NUMA
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO LOCALIZADA NA CIDADE DE SANTA
LUZIA DO ITANHY A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS DE
ESCLEROMETRIA E PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

ESTÂNCIA
2021

GABRIEL DUQUE DE ALMEIDA NETO

AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS PRESENTES NUMA
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO LOCALIZADA NA CIDADE DE SANTA
LUZIA DO ITANHY A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS DE
ESCLEROMETRIA E PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

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

Almeida Neto, Gabriel Duque de.
A447a Avaliação das manifestações patológicas presentes numa estrutura de concreto armado localizada na cidade de Santa Luzia do Itanhhy a partir da utilização de ensaios de esclerometria e profundidade de carbonatação. / Gabriel Duque de Almeida Neto. - Estância, 2021.
53 f.; il.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2014.

Orientador: Prof. Esp. Gilberto Messias dos Santos Júnior.

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

CDU: 624:691. 328.43

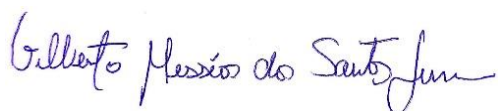
GABRIEL DUQUE DE ALMEIDA NETO

AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS PRESENTES NUMA
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO LOCALIZADA NA CIDADE DE SANTA
LUZIA DO ITANHY A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS DE
ESCLEROMETRIA E PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

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

RESUMO

Este trabalho consiste na avaliação das manifestações patológicas numa estrutura de concreto armado localizada na cidade de Santa Luzia do Itanhy-SE a partir dos ensaios de esclerometria e profundidade de carbonatação. Os ensaios foram realizados em dois pilares de um píer antigo, situado no povoado Crasto, e que se encontram em risco elevado de deterioração estrutural, segundo a ABNT NBR 6118:2014, por estarem expostos a respingos de maré. Os procedimentos do ensaio de esclerometria foram realizados de acordo com as prescrições da ABNT NBR 7584:2012, além de uma análise estatística, onde foram estimados os valores da média das resistências dos outros 28 pilares da estrutura através do intervalo de confiança para média e a função de regressão linear, que apresentaram resultados próximos da resistência nas diferentes zonas. O ensaio de carbonatação foi realizado com perfurações feitas no mesmo local do ensaio de esclerometria. Após perfurações a cada 0,5 cm, foram coletados os resíduos do concreto e feitos os ensaios de profundidade de carbonatação, inserindo um composto que utiliza a fenolftaleína (indicador de pH) para assim verificar a possibilidade da ocorrência de corrosão das armaduras da estrutura devido à carbonatação. Verificou-se que as resistências dos dois pilares analisados, conforme a ABNT NBR 6118:2014, estão dentro dos parâmetros exigidos. No entanto, somente uma zona de um pilar apresentou resistência 10% menor do que exigido pela norma. Nas zonas superiores dos dois pilares foi verificado que a profundidade de carbonatação foi menor que o cobrimento da armadura, impossibilitando, assim, a ocorrência de corrosão por carbonatação.

Palavras-chave: Concreto armado. Esclerometria. Carbonatação. Manifestações patológicas.

ABSTRACT

This paper consists of an evaluation of pathological manifestations in a reinforced concrete structure located in Santa Luzia do Itanhhy city, Sergipe, Brazil from the compressive strength and carbonation depth tests. The tests were performed on two pillars of an old pier, located in the village of Crasto, that are at high risk of structural deterioration, according to the Brazilian Association of Technical Standards 6118:2014 (ABNT NBR 6118:2014) for being exposed to tidal splashes. The surface hardness tests were performed in accordance with the standard requirements of the ABNT NBR 7584:2012 in addition to a statistical analysis where the mean resistance of the other 28 pillars was estimated through the confidence interval for mean and linear regression function, which presented results close to the resistance in the different zones. The carbonation test was performed with perforations performed on the same location as the surface hardness test. After drilling every 0.5 cm, the concrete residues were collected and carbonation depth tests carried out, inserting a compound that uses phenolphthalein (pH indicator) to verify the possibility of corrosion of the structure's reinforcement due to carbonation. It was found that the resistance of the two pillars that were analyzed, according to ABNT NBR 6118:2014 are within the required parameters. However, only one area of a pillar presented resistance 10% lower than required by the standard. In the upper areas of the two pillars, it was verified that the carbonation depth was less than the reinforcement cover, thus preventing the occurrence of corrosion by carbonation.

Keywords: Reinforced concrete. Surface hardness test. Carbonation. Pathological manifestation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto aparente	17
Figura 2 – Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis	18
Figura 3 – Reações parciais da zona anódica e catódica	19
Figura 4 – Classificações da corrosão	19
Figura 5 – Aparência superficial da corrosão generalizada desencadeada pela carbonatação do concreto (a) e da corrosão puntiforme desencadeada pela ação dos íons cloreto (b)	21
Figura 6 – Representação do avanço do processo de carbonatação	22
Figura 7 – Fluxograma das etapas de uma inspeção preliminar e detalhada	24
Figura 8 – Esboço das etapas e da importância de um diagnóstico nas estruturas com manifestações patológicas	27
Figura 9 – Píer do povoado Crasto	32
Figura 10 – Representação do píer	33
Figura 11 – Representação das faces e zonas do píer	34
Figura 12 – Esboço 3D do píer	34
Figura 13 – Área de impacto para o ensaio de esclerometria	35
Figura 14 – Ilustração da tabela para coleta de dados	36
Figura 15 – Curva para correlacionar o IE com a resistência a compressão axial	37
Figura 16 – Marcação na estrutura para realização dos impactos com o esclerômetro	39
Figura 17 – Mudança de cor na estrutura após o uso da fenolftaleína	40
Figura 18 – Histograma de frequência do valor do índice esclerométrico	43
Figura 19 – Relação do histograma com a FDP	44
Figura 20 – Representação das regiões	45
Figura 21 – Gráfico de dispersão entre Δy e IE	46
Figura 22 – Profundidade de carbonatação 0,5 cm (a) e 1,0 cm (b)	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental	15
Tabela 2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10 \text{ mm}$	15
Tabela 3 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto armado	16
Tabela 4 – Classes de resistência de concretos estruturais	16
Tabela 5 – Valores dos impactos com o esclerômetro	41
Tabela 6 – Valores do índice esclerométrico	42
Tabela 7 – Valores da resistência	42
Tabela 8 – Relação entre o índice esclerométrico e a função de regressão linear	46
Tabela 9 – Relação entre a resistência e a função de regressão linear	47
Tabela 10 – Profundidade de carbonatação nos pilares	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Lista de materiais para realização dos ensaios	38
Quadro 2 – Valores usados para o cálculo do intervalo de confiança	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	CONCEITOS INICIAIS	12
2.2	CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO	13
2.3	CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL	14
2.4	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	16
2.4.1	Corrosão das Armaduras no Concreto Armado	18
2.5	INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO	22
2.5.1	Inspeção Preliminar e Detalhada	25
2.5.2	Diagnóstico	26
2.6	MANUTENÇÃO ESTRUTURAL	27
2.7	TIPOS DE MANUTENÇÃO	28
2.7.1	Manutenção Corretiva	29
2.7.2	Manutenção Preventiva	29
2.8	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	30
2.8.1	Ensaio de Dureza Superficial do Concreto	31
2.8.2	Ensaio de Carbonatação no Concreto	31
3	METODOLOGIA	32
3.1	ESTUDO DE CASO	32
3.2	ENSAIO DE DUREZA SUPERFICIAL DO CONCRETO	35
3.3	ENSAIO DE CARBONATAÇÃO NO CONCRETO	37
3.4	MATERIAIS UTILIZADOS	37
3.5	PROCEDIMENTO DOS ESTUDOS	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA SUPERFICIAL	41
4.2	RESULTADOS DO ENSAIO DE CARBONATAÇÃO	47
5	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da civilização, o homem busca aprimorar seus conhecimentos e expor suas potencialidades, edificando estruturas cada vez mais robustas. Para tanto, aliou os materiais disponíveis com técnicas construtivas, executando estruturas imponentes. No século XX, consolidou-se a utilização do material mais empregado até hoje nas estruturas – o concreto armado (SOUZA, 2009).

O concreto armado é a estrutura mais aplicada nas construções de maiores ou menores portes, utilizando armações feitas com barras de aço. Esse tipo de concreto apresenta uma elevada resistência à compressão em comparação aos outros materiais e, devido à armação, o concreto armado também suporta uma boa quantidade de esforços de tração (PEREIRA, 2021).

Como em qualquer outro tipo de estrutura, a de concreto armado é realizada por engenheiros especializados. Eles servirão para a composição de vigas, pilares, sapatas, lajes e diversos componentes estruturais que necessitam de um cálculo para o dimensionamento de alguns fatores em virtude de manter um bom desempenho da estrutura, como a resistência do concreto e, até mesmo, o cobrimento necessário para a estrutura (PEREIRA, 2021).

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de forma a manter sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante toda sua vida útil, obedecendo às condições ambientais e usuais conforme preconizado na época do projeto.

O concreto armado, sendo um material não inerte, está sujeito a alterações, ao longo do tempo, em função de interações entre seus elementos constitutivos (cimento, areia, brita, água e aço), entre esses e materiais que lhe são adicionados (aditivos), e com agentes externos (ácidos, bases, sais, gases, vapores, microrganismos e outros). Muitas vezes, essas interações resultam em anomalias chamadas de manifestações patológicas, onde essas alterações podem comprometer o desempenho da estrutura e provocar efeitos estéticos indesejáveis (LAPA, 2008).

Os problemas patológicos, salvo raras exceções, apresentam manifestações externas características, a partir das quais podemos deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, assim como estimar as prováveis consequências (POLITO, 2006). Nesses locais, são necessários uma série de programas, ensaios e execuções de inspeção e diagnóstico para obtenção do que deverá ser feito a respeito do problema (MAZER, 2018).

Para solução desses problemas, são utilizadas técnicas rápidas, práticas, econômicas com a finalidade de monitorar a qualidade da construção civil através de ensaios orientados por Norma Técnica Brasileira (NBR), as quais servem para avaliar as condições do concreto através dos resultados obtidos no ensaio.

Conforme Sahuinco (2011), os ensaios são divididos em três categorias: destrutivos, semi-destrutivos e não destrutivos. Esse trabalho terá como foco os Ensaio Não Destrutivos (ENDs), cuja principal função é a utilização de métodos eficazes e menos destrutivos para obtenção de resultados.

Segundo a Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI), os ensaios não destrutivos são constituídos por métodos de análise utilizados para inspeção, ensaio ou avaliação de materiais, componentes e equipamentos, sem destruir ou comprometer partes da peça ou do sistema em avaliação.

Como visto, diversos são os fatores para o surgimento das manifestações patológicas em estrutura de concreto armado. Logo, haverá diversos ensaios para o monitoramento e avaliação desses problemas na estrutura. Porém, o foco deste trabalho será apenas na avaliação de manifestações patológicas de um píer através do ensaio de esclerometria e profundidade de carbonatação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as manifestações patológicas presentes numa estrutura de concreto armado localizada na cidade de Santa Luzia do Itanhhy a partir da utilização de ensaios de esclerometria e profundidade de carbonatação.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar valores aproximados da resistência do concreto endurecido através da avaliação com o esclerômetro, conforme a ABNT NBR 7584:2012;
- Verificar a profundidade da frente de carbonatação com o emprego da solução de fenolftaleína nos resíduos provocados por furos no concreto;
- Verificar se ocorreu alterações nos resultados da resistência do concreto em zonas com maiores profundidades de carbonatação no concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCEITOS INICIAIS

O crescimento acelerado das construções civis provocou a necessidade de inovações, que, com este avanço, também resultou em maiores riscos. Com a aceitação desses riscos, o desenvolvimento tecnológico aconteceu naturalmente, e, com ela, o aumento do conhecimento sobre estruturas e materiais. Entre tais riscos, está a deterioração precoce das construções civis, que foi obtida através do estudo e da análise dos erros acontecidos (SOUZA; RIPPER, 1998).

Sobre patologia, Nazario e Zancan (2011, p.01) relatam:

Patologia, de acordo com os dicionários, é a parte da Medicina que estuda as doenças. A palavra patologia tem origem grega de phatos, que significa sofrimento, doença, e de logia, que é ciência, estudo. Sendo assim, o dicionário Michaelis define a palavra como a “Ciência que estuda a origem, os sintomas e a natureza das doenças”.

A patologia na construção civil é o estudo relacionado às causas, às manifestações e à ocorrência dos erros de projeto, de construção e de manutenção nas construções civis ou em casos nos quais não apresentam um desempenho mínimo (HELENE, 1992). De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, as estruturas devem ser projetadas e construídas de modo que suportem as condições ambientais e que conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço e período corresponde à sua vida útil.

Segundo Souza e Ripper (1998), existem complexos conjuntos de fatores que geram o que é chamado de deterioração estrutural. As causas podem ser as mais diversas, desde o envelhecimento da estrutura até os acidentes causados por falta de responsabilidade de alguns profissionais que optam pela utilização de materiais ou de formas mais econômicas na construção civil. Eles também citam que a patologia não é apenas um campo no aspecto da identificação e do conhecimento das anomalias existentes na estrutura, mas também à própria formação do engenheiro civil, conforme os estudos praticados na área.

O estudo das manifestações patológicas nas construções é de grande importância para evitar, reduzir ou eliminar problemas existentes na estrutura. Para que esses problemas sejam evitados, são feitos estudos detalhados das origens das manifestações patológicas existentes que levam à degradação das estruturas (NAZARIO; ZANCAN, 2011).

2.2 CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO

O concreto é o material construtivo mais usado na construção civil e pode ser encontrado em vários tipos de obras, pontes, barragens, viadutos, edifícios, etc. Pode-se afirmar que é uma pedra artificial, pois depois de endurecida, tem resistência similar às rochas naturais. Porém, quando em estado fresco, é um composto plástico que possibilita a modificação de seu formato e tamanho (SOUZA, 2009).

A resistência do concreto é uma de suas propriedades mais importantes, pois apresenta uma boa resistência à compressão, porém é um material não resistente à tração e por consequência à flexão e cortante. Devido à todos esses motivos, o incremento do aço no concreto o ajuda a resistir à tração e flexão, onde a junção desses dois elementos tem como denominação concreto armado (TEJEDOR, 2013).

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 os elementos do concreto armado são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

A união desses materiais, devem trabalhar de forma conjunta, e isso se torna possível devido à aderência entre a superfície do aço e do concreto. Pois, o aço tracionado só funciona quando a deformação do concreto ocorre, o que caracteriza as armaduras passivas. O aço no concreto armado é chamado de armadura passiva, o que significa que as tensões e deformações nela aplicadas se devem aos carregamentos aplicativos nas peças. Portanto, o concreto armado é obtido por meio da associação entre o concreto e a armadura passiva, de tal modo que ambos resistam aos esforços solicitantes (SANTANA, 2017).

A execução do concreto protendido é bem semelhante à do concreto armado, porém são inseridas tensões prévias de compressão, onde são aplicadas nas regiões dos elementos tracionados pelo carregamento. Dessa forma, as tensões de tração são diminuídas ou mesmo anuladas pela compressão aplicada na fase de produção. Essa força de protensão é resultado do pré-alongamento da armadura ativa (CHOLFE, 2015)

Cholfe (2015) afirma que a protensão é um sistema construtivo no qual, por meio de processo mecânico, o aço é tensionado, aproveitando ao máximo a resistência do material. Conforme a ABNT NBR 6118:2014 os elementos do concreto protendido são aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado limite último.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 o concreto protendido é composto por uma armadura ativa constituída por barra, fios isolados ou cordoalhas, destinada à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial.

2.3 CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

A construção civil utiliza diversos materiais e ferramentas na elaboração e execução de seus projetos, entre estes, os mais utilizados são o aço e o concreto. Isto é devido ao baixo custo desses dois materiais, assim como suas excelentes propriedades mecânicas e de durabilidade contra agentes agressivos quando combinados. Entretanto, esses elementos não mostram durabilidade em ambientes marinhos e industrial, uma vez que são uns dos meios mais agressivos do mundo (BESSA et al., 2020).

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, durabilidade consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

A ABNT NBR 6118:2014 ainda ressalta que a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

A agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na tabela 1 e pode ser avaliada, simplificadamente, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fracá	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Conforme a ABNT NBR 6118:2014, a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura.

Para atender aos requisitos estabelecidos nesta norma, o cobrimento mínimo da armadura é o menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado. Isto constitui um critério de aceitação. Na Tabela 2 são especificados os cobrimentos nominais mínimos a serem adotados para cada situação.

Tabela 2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30	30	40	50
Concreto protendido	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 esse critério de cobrimento, juntamente com a classe de resistência e a relação água/cimento, também estão relacionados com a classe de

agressividade do ambiente, para que seja garantida a qualidade da estrutura com o meio em que esta for construída.

Os requisitos mínimos expresso na Tabela 3, apresentam a correspondência entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto armado e concreto protendido. No qual, CA corresponde aos componentes do concreto armado e CP aos componentes do concreto protendido.

Tabela 3 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto armado

Concreto	Tipo	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe do concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Segundo a ABNT NBR 8953:2015, os concretos para fins estruturais são classificados nos grupos I e II, conforme a resistência característica (f_{ck}) demonstrada na Tabela 4. Os concretos com classe de resistência inferior a C20 não são estruturais.

Tabela 4 – Classes de resistência de concretos estruturais

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT NBR 8953:2015

2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Com o avanço tecnológico, processos construtivos e materiais de construção associados às exigências competitivas têm formado construções cada vez mais esbeltas e econômicas. Com o aumento do crescimento das cidades e indústrias, as construções civis passaram a ficar expostas a ambientes extremamente desfavoráveis. Com tais avanços e ao decorrer do tempo, as construções começaram a apresentar níveis de degradação maior que o desejado em projeto,

apresentando manifestações patológicas e problemas relacionados à qualidade e à durabilidade. (POSSAN; DEMOLINER, 2013).

Os problemas patológicos apresentam manifestações externas, nas quais podemos deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos. Através de diagnósticos e experientes observações na estrutura, é possível determinar sintomas, também denominados de lesões, danos, defeito ou manifestações patológicas. (HELENE, 1992).

A degradação das construções ou das pequenas partes dela é um problema crítico frequente em todo o mundo. A deterioração ocorre muitas vezes devido aos erros no projeto, execução e manutenção. Também são fatores o envelhecimento das estruturas e a baixa qualidade de materiais de construção (POSSAN; DEMOLINER, 2013).

Helene (1992) constata que as manifestações patológicas de maiores incidências nas estruturas de concreto são as fissuras, as manchas superficiais, a corrosão de armadura, os ninhos de concretagem, as flechas excessivas e a degradação química, conforme a Figura 1.

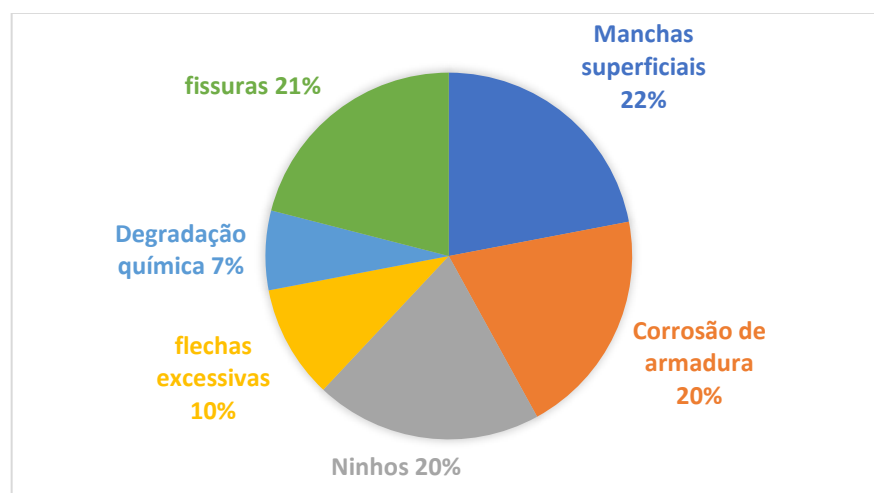


Figura 1 – Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto aparente
Fonte: HELENE, 1992

A origem de problemas patológicos se caracteriza nas etapas construtivas onde foram cometidos erros ou falhas, que acarretaram problemas patológicos posteriores na estrutura. Os problemas construtivos podem ser compreendidos em algumas fases de construção, em que se originam através de falhas em qualquer das etapas, porém sua manifestação é mais comum no uso e na ocupação da estrutura. Entretanto, em alguns casos, é possível observar esses erros na fase de execução (BERTI; JÚNIOR; AKASAKI, 2019).

Helene (1992) alega que uma grande parte das manifestações patológicas são originadas nas falhas das etapas de planejamento e do projeto. Essas falhas geralmente são mais graves

que as de qualidade dos materiais utilizados na construção e de má execução da construção. Como mostrado na Figura 2, referente à pesquisa realizada por Grunau (1981) apud. (HELENE, 1992).

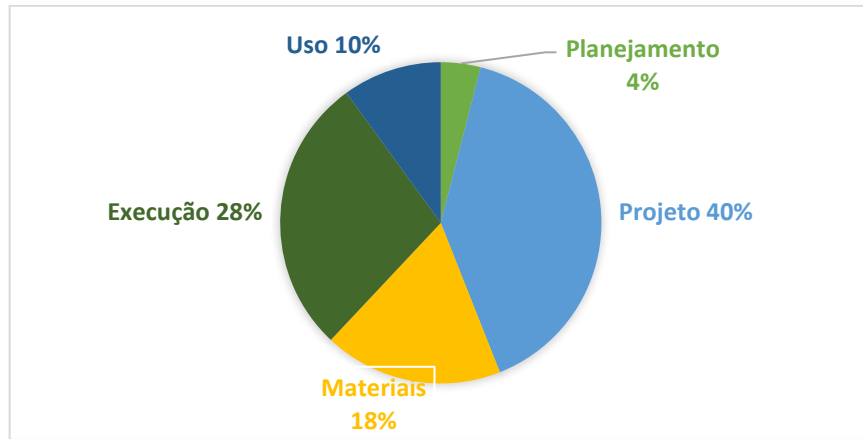


Figura 2 – Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis
Fonte: Grunau (1981) apud. (HELENE, 1992)

2.4.1 Corrosão das Armaduras no Concreto Armado

A corrosão é um fenômeno eletroquímico, que depende do meio para ter seu processo acelerado ou não. As condições mínimas, a fim de que ela ocorra, são estabelecidas por uma interligação entre os três elementos essenciais para partida do fenômeno corrosivo: oxigênio, umidade e pilha – célula de corrosão eletroquímica formada pelo metal, ânodo (área corroída) e cátodo (área não corroída) e eletrólito (água) (MAZER, 2008).

A corrosão eletroquímica é formada pela presença de regiões anódicas e catódicas, em que há uma diferença de potencial entre elas no próprio metal, cuja região anódica é caracterizada pelo potencial mais eletronegativo e pela passagem do material do estado metálico para o estado iônico: a região catódica, onde são consumidos os elétrons gerados na região anódica; uma ligação metálica entre o ânodo e o cátodo, que pode ser caracterizada pelo mesmo material metálico; e uma ligação externa caracterizada pela condução iônica, através do eletrólito (MEIRA, 2017). A Figura 3 representa esse fenômeno e expõe as reações parciais que se processam nas regiões anódica e catódica, características de um meio alcalino como o concreto.

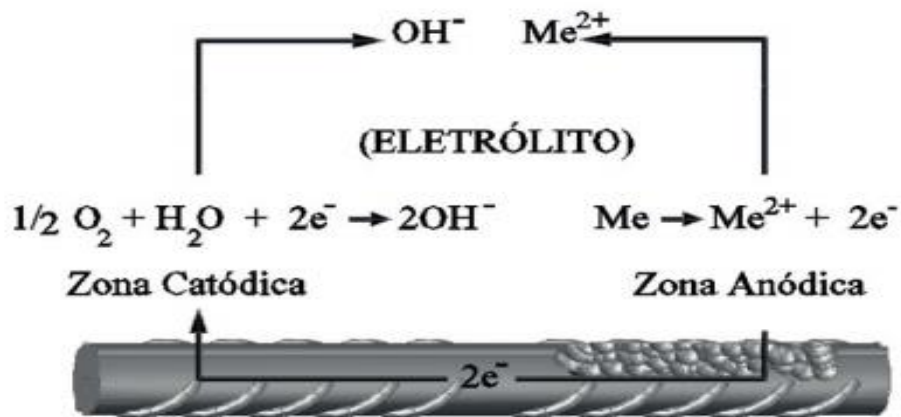


Figura 3 – Reações parciais da zona anódica e catódica

Fonte: MEIRA, 2017

A equação da direita representa as reações parciais de dissolução do metal (oxidação). A equação da esquerda representa as reações parciais catódicas, as quais são caracterizadas pelo consumo dos elétrons produzidos na área anódica. O conjunto dessas reações representa um total entendimento do processo de corrosão eletroquímica e o controle de quaisquer das reações parciais caracterizadas por um total controle sobre o processo de corrosão (MEIRA, 2017).

A corrosão pode ser classificada como generalizada (uniforme e irregular), localizada, com formação de pites e com formação de fissuras. Esses tipos de corrosão podem sofrer variações morfológicas, capazes de assumir outras formas e aparência superficial diferente entre elas (ALVES; CARVALHO, 2019). A Figura 4 apresenta as classificações da corrosão.

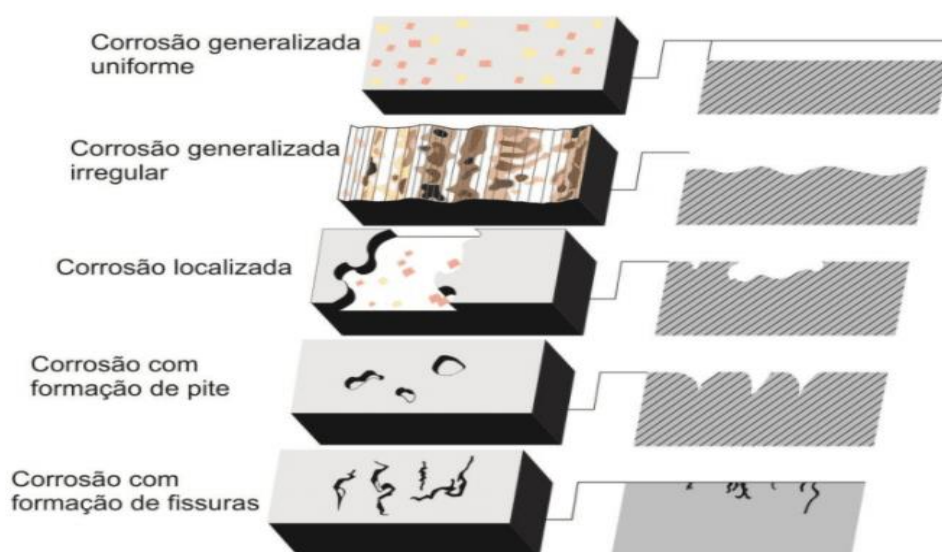


Figura 4 – Classificações da corrosão

Fonte: ALVES; CARVALHO, 2019

A corrosão generalizada é caracterizada por um ataque produzido em uma grande área superficial do metal, na qual existem várias regiões anódicas e catódicas, formando micropilhas que mudam a todo tempo. Nesse caso, a perda de seção pode ser uniforme ou irregular (ALVES; CARVALHO, 2019).

A corrosão localizada é formada por uma mistura do ataque da corrosão uniforme e da corrosão por pites. O ataque se forma em zonas mais ou menos extensas do material, as quais, por diversas razões, são anódicas em relação às demais (ALVES; CARVALHO, 2019).

Na corrosão por pites, o ataque se produz em zonas mais ativas que o resto da superfície. Essa geralmente é ocasionada por algum tipo de contaminante presente na região que tem a propriedade de romper a capa passivadora em pontos específicos, como é o caso dos cloretos (ALVES; CARVALHO, 2019).

A corrosão com formação de fissuras é formada somente quando, além das condições propícias para a corrosão, o metal também está submetido a tensões de tração na estrutura. Com essas tensões atuantes no aço, surgem fissuras no material que se propagam na direção transversal à carga, produzindo rupturas com níveis baixos de tensão (ALVES; CARVALHO, 2019).

O concreto oferece ao aço duas proteções importantes: proteção física, a qual separa o aço do contato direto com o meio externo, e proteção química, pois o concreto apresenta um elevado pH, o qual promove a formação de uma película passivadora que envolve o aço (FIGUEIREDO; MEIRA, 2013).

A película passivadora apresenta uma elevada resistência para proteção do aço, conferindo taxas de corrosão desprezíveis, impedindo o acesso de umidade, oxigênio e agentes agressivos à superfície do aço, bem como dificulta a dissolução do ferro (Figueiredo; Meira, 2013). Para que ocorra a corrosão no aço do concreto armado, é necessário que seja destruída esta camada que o envolve, denominada de despassivação da armadura (SANTOS, 2015).

O concreto tem a função de proteger as armaduras através da sua proteção física e química, devido ao revestimento com o próprio concreto, de alta compacidade e minimizador de poros, fazendo com que os agentes agressivos não tenham condições de entrada, impedindo assim a formação das células eletroquímicas. O revestimento também tem como função a proteção da película protetora da armadura, formada pela passivação do aço pelo pH de 12,6, proporcionado pelo grau de alcalinidade do hidróxido de cálcio dissolvido na água que preenche os poros do concreto (MAZER, 2008).

Segundo a NBR ABNT 6118:2014, existem dois motivos preponderantes para a despassivação da armadura, são estes:

- Por carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico da atmosfera;
- Por elevado teor de íon cloro (cloreto).

As formas mais comuns de corrosão em estruturas de concreto armado são a generalizada irregular (Figura 5a) e a puntiforme ou por pites (Figura 5b). O primeiro caso retrata a corrosão desencadeada pela carbonatação do concreto, que atua na forma de uma frente e desencadeia a corrosão ao longo de uma superfície extensa do aço. O segundo caso está relacionado à corrosão desencadeada pela ação dos íons cloreto, com ação localizada em relação à ruptura da capa passiva do metal (MEIRA, 2017), conforme a Figura 5 representa.



Figura 5 – Aparência superficial da corrosão generalizada desencadeada pela carbonatação do concreto (a) e da corrosão puntiforme desencadeada pela ação dos íons cloreto (b)

Fonte: MEIRA, 2017

A carbonatação no concreto é uma das manifestações mais estudadas e preocupantes que comprometem as estruturas de concreto armado. Este problema resulta em mudanças microestruturais e na diminuição do pH do concreto que é capaz de reduzir a proteção passiva das armaduras, aumentando a vulnerabilidade à corrosão e comprometendo a durabilidade da estrutura (Vladimirovich, 2017).

A carbonatação é um processo lento ocasionado pelas reações químicas resultantes da interação de dois componentes, como o gás carbônico (CO_2), presentes na atmosfera, com os

produtos da hidratação do cimento e da própria água (H_2O) que penetra no concreto, formando um composto chamado ácido carbônico (H_2CO_3). Ao reagir com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) presente na pasta de cimento hidratada, esse ácido resulta em carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e água, dando origem à carbonatação. A primeira consequência dessa reação é a redução do PH do concreto de valores ideais entre 12,6 e 13,5 para números próximos de 8,5 (Vladimirovich, 2017).

Nas estruturas de concreto, há uma redução do nível de alcalinidade devido ao processo de carbonatação. Como o gás carbônico se difunde do concreto de fora para dentro, a carbonatação se orienta no mesmo sentido, gerando uma frente carbonatada e outra região onde a carbonatação ainda não chegou e, portanto, os níveis de pH se mantêm elevados. Desse modo, quando a frente de carbonatação de pH mais baixa atinge a região do aço, ocorre o processo de despassivação da película do aço, proporcionando um ambiente adequado e suscetível à sua corrosão (MEIRA, 2017), conforme é ilustrado na Figura 6.

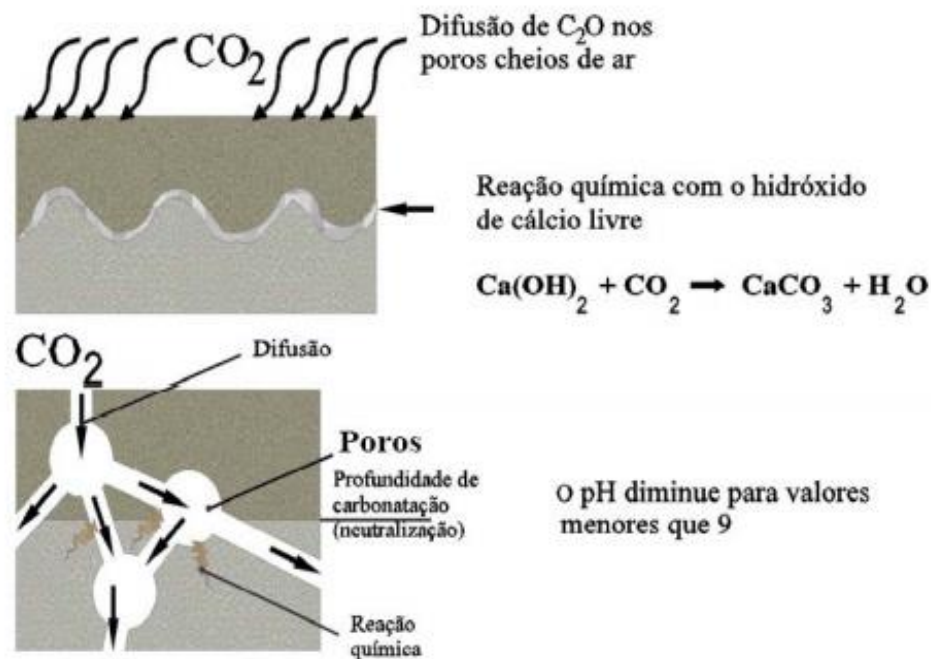


Figura 6 – Representação do avanço do processo de carbonatação

Fonte: CEB (1984) apud. Meira (2017)

2.5 INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO

Com o surgimento de manifestações patológicas em uma estrutura, foi necessário desenvolver métodos de inspeção e de diagnóstico eficientes para determinar que medidas

devem ser tomadas diante de uma estrutura com leves ou graves problemas patológicos. Para esses casos, é necessário conhecer o correto diagnóstico dessa anomalia, a fim de poder buscar, de forma eficiente e prática, uma boa recuperação ao tipo de problema apresentado na estrutura (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

O diagnóstico de um elemento construído é, basicamente, detectar e determinar uma falha ocorrida num determinado local. Com este diagnóstico, é possível identificar as causas de um problema e prever ou prevenir com segurança as consequências futuras (MAIA, [20--?]).

Numa inspeção, é essencial o uso de equipamentos para efetuar diagnósticos e soluções para estruturas com problemas. Com esses diagnósticos, é possível para o profissional elaborar e estudar uma série de estratégias para um plano de amostragem representativa na estrutura. Nem todos os ensaios e medições são efetuados diretamente sobre os materiais em obra ou sobre elementos estruturais. Também são efetuados em laboratório com a retirada da amostra do material no local para estudos posteriores (MAIA, [20--?]).

Segundo Tutikian e Pacheco (2013), é preciso uma análise e um estudo do processo patológico que devem permitir ao investigador uma determinação da origem, do mecanismo e dos danos subsequentes para que possam ser feitas uma avaliação e uma conclusão sobre as técnicas de recomendações mais eficazes. A denominação mais comum, para caracterizar este tipo de estudo, é a inspeção ou a avaliação da estrutura.

As etapas de inspeção são definidas por Tutikian e Pacheco (2013, p.06) como as seguintes:

- Elaboração de uma ficha de antecedentes, da estrutura e do ambiente, baseado em documentação existente e visita à obra;
- Exame visual geral da estrutura;
- Levantamento dos danos;
- Seleção de regiões para a realização de ensaios, medições, análises físico-químicas no concreto, nas armaduras e no ambiente circundante;
- Seleção das técnicas de ensaio, medições, análise mais acurada etc.;
- Execução de medições, ensaios e análises físico-químicos.

Conforme o tipo da estrutura e os problemas avaliados inicialmente, com a realização de uma averiguação mais detalhada na estrutura, podemos realizar um diagnóstico. A Figura 7 abaixo apresenta um fluxograma das etapas de uma inspeção preliminar e detalhada.

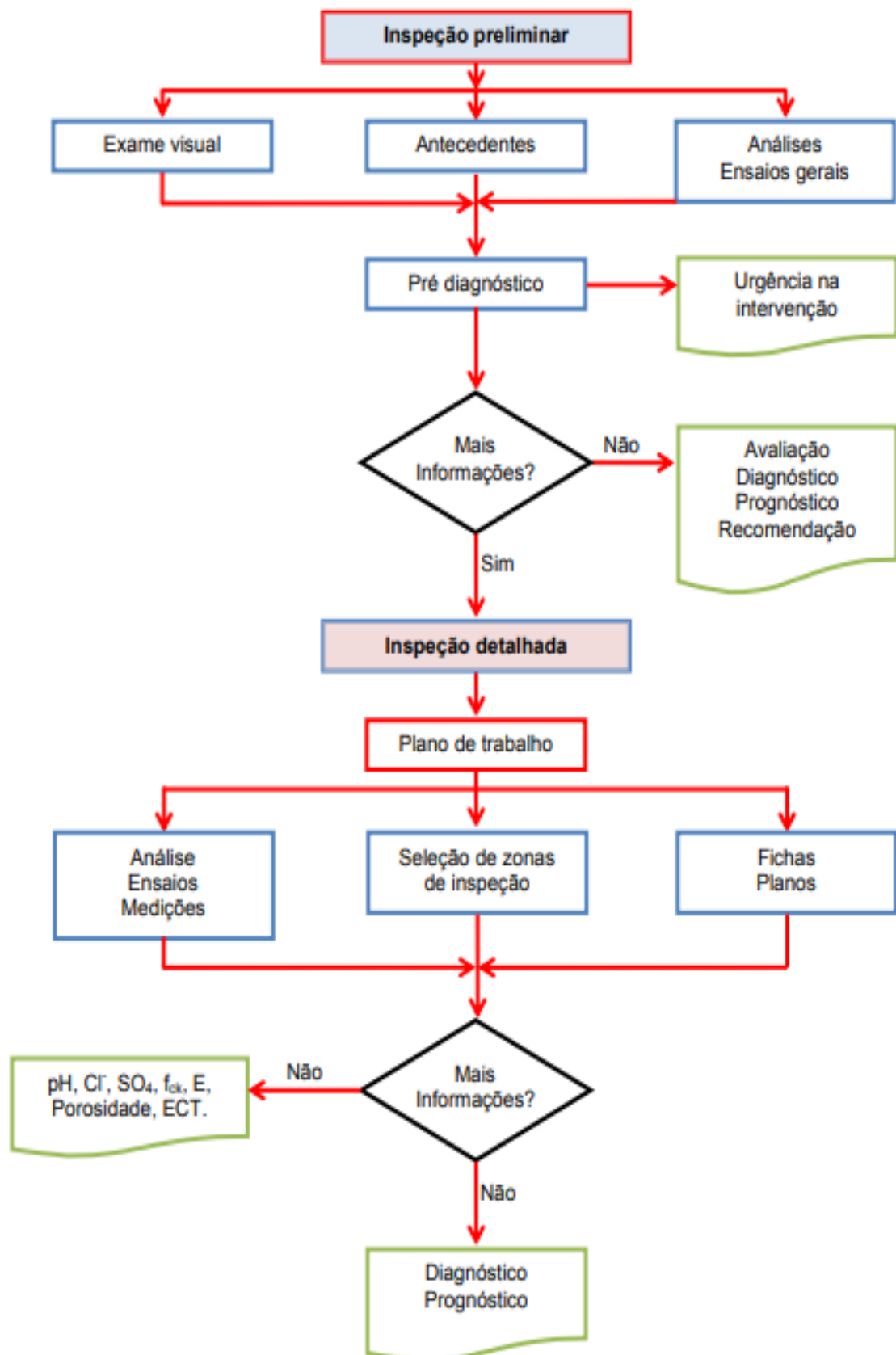


Figura 7 – Fluxograma das etapas de uma inspeção preliminar e detalhada
 Fonte: Helene (2007) apud. Tutikian e Pacheco (2013)

2.5.1 Inspeção Preliminar e Detalhada

Tutikian e Pacheco (2013) dividem a inspeção preliminar em duas partes: a ficha de avaliação de antecedentes e o exame geral visual.

A Ficha de avaliação de antecedentes da estrutura e do ambiente:

- Estrutura: deve-se buscar informações sobre a estrutura, como a idade ou tempo de serviço, natureza e procedência dos materiais constituintes, resistência característica, qualidade e características de construção, idade de início dos problemas, diagnósticos e reparações anteriores, níveis de tensão de trabalho da estrutura, eventuais mudanças de uso etc.
- Ambiente: informações que permitam caracterizar sua agressividade. É fundamental assinalar a forma de interação entre o ambiente e a estrutura afetada; neste sentido, corresponderá ao critério e à experiência do avaliador e, também, aos ensaios simples e às medidas que permitam determinar e qualificar a intensidade desta interação sobre a estrutura.

Exame geral visual da estrutura:

- Este processo deve permitir determinar se o problema se apresenta generalizada ou localizadamente. Deve-se realizar um exame diferenciado dos elementos, registrando os sinais aparentes de corrosão (manchas, extensão, grau de degradação etc.), fissuras (localização, direção, dimensão, abertura etc.), regiões de desprendimento de concreto com e sem exposição da armadura, degradação do concreto, assim como qualquer outra anomalia.

Tutikian e Pacheco (2013) ainda comentam que é recomendável que sejam feitas investigações mais detalhadas, como:

- Fichas, croquis e planos de levantamento de danos;
- Plano de amostras;
- Tabela de tipificação dos danos;
- Técnicas de ensaio/medição/análises adequadas;
- Regiões onde deverão ser realizados ensaios;
- Planificação de materiais e equipamentos.

2.5.2 Diagnóstico

Dá-se o nome de diagnóstico do problema patológico todo o processo de entendimento e explicação científica dos fenômenos ocorridos e seus respectivos desenvolvimentos de uma construção onde ocorrem manifestações patológicas (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

O diagnóstico dos problemas patológicos pode ser definido como a identificação da natureza e da origem dos defeitos. Entretanto, devido às construções serem feitas com um número grande de participantes e os projetos e materiais apresentarem grande variabilidade e quantidade, resultam em mais problemas. Para contorná-los e obter soluções corretas, o diagnóstico deve ser feito em etapas bem definidas por pessoas com experiência em construção civil ou profissionais específicos, de maneira a obter uma resposta correta, o que evita, na maioria dos casos, agravar o problema (CREMONIMI, 1988).

O diagnóstico em um elemento já construído baseia-se em detectar e determinar uma falha ou problema existente no local. De acordo com os procedimentos disponíveis, é possível identificar os erros provenientes no local, a fim de que possa prever, com alguma segurança, consequências futuras. Esse diagnóstico geralmente é efetuado com base nos recursos e na tecnologia que complementam as observações e ajudam a conhecer os problemas existentes. Em alguns casos, a inspeção técnica por si só não detecta ou identifica o problema, sendo que o diagnóstico permite com exatidão concluir todo o processo patológico no elemento estrutural (MAIA, [20--?]).

Entretanto, o fato de a informação feita pelo diagnóstico poder ser perfeitamente quantificável permite auxiliar na tomada de decisões e promover a efetivação com maior ou menor profundidade dos projetos de reparação e de reabilitação para a obtenção da durabilidade dos materiais, assim como a segurança estrutural (MAIA, [20--?]).

Um diagnóstico eficiente do problema deve indicar em qual etapa ou processo construtivo teve origem o fenômeno. A identificação da origem do problema permite identificar, para fins judiciais, quem cometeu a falha, por exemplo, em um projeto inadequado, na qualidade inferior de materiais usados, na má execução etc. Para cada origem do problema, há uma terapia mais apropriada, embora as manifestações e os sintomas possam ser iguais (HELENE, 1992).

Tutikian e Pacheco (2013) apresentam um esboço das etapas e da importância de um diagnóstico nas estruturas com manifestações patológicas, conforme é mostrado na Figura 8.

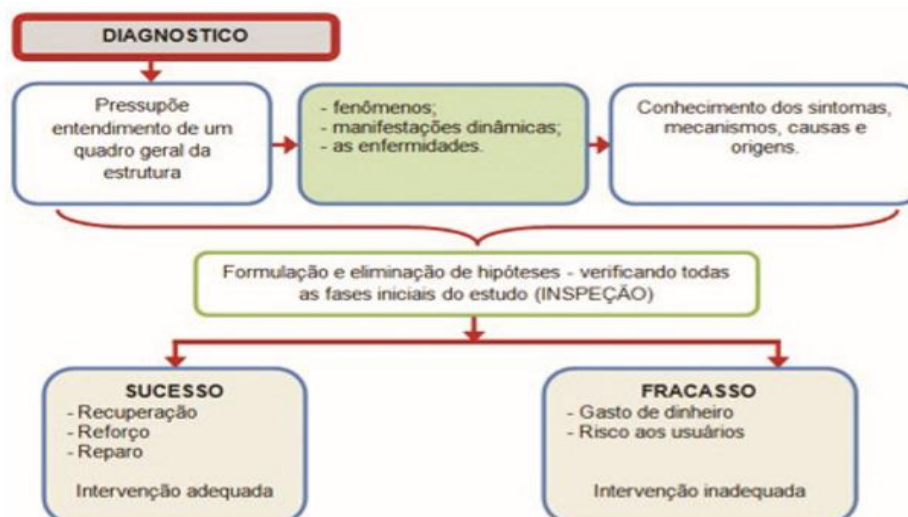


Figura 8 – Esboço das etapas e da importância de um diagnóstico nas estruturas com manifestações patológicas
Fonte: Tutikian e Pacheco, 2013

Os dados devem ser colhidos ordenadamente para que possa ser realizado o diagnóstico correto futuramente. A colheita desordenada, excessiva e mal planejada de dados pode resultar em dificuldades, problemas posteriores e, até mesmo, desviar o patologista do caminho certo (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

2.6 MANUTENÇÃO ESTRUTURAL

Entende-se por manutenção de uma estrutura o conjunto de atividades necessárias à garantia do seu desempenho satisfatório ao longo do tempo, ou seja, o conjunto de rotinas que tenham por finalidade o prolongamento da vida útil da obra, a um custo compensador (SOUZA; RIPPER, 1998).

Manutenção é o termo usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam, através de atividades, evitar as falhas. As atividades de manutenção serão responsáveis, principalmente para aquelas que têm um papel fundamental na produção de seus bens e serviços, auxiliando a melhoria do equipamento ou da construção em fatores favoráveis como segurança melhorada, confiabilidade aumentada, qualidade maior, custos de operação mais baixos (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

Conforme Cremonimi (1988), as edificações são construídas por diversos materiais e componentes, em que esses materiais sofrem uma série de processos de degradação quando em contato com o meio. Devido à esse processo, a estrutura leva a uma perda de desempenho até que se atinja um nível mínimo, a partir do qual se caracteriza um defeito. As atividades

realizadas na edificação, para que esta continue a cumprir as funções que foi destinada, são definidas por Perez (1985) apud Cremonimi (1988) como “manutenção”.

A manutenção é muitas vezes reputada como uma tarefa secundária e dispendiosa. É frequentemente alvo de reduções orçamentais fortes em situações económicas difíceis, visto que, cada vez mais, se verifica o interesse sobre a previsão programada dos custos de serviço logo na fase de concepção de um edifício, por ser considerado um fator determinante e capaz de alterar radicalmente o custo global de um edifício (LEITE, 2009).

Todos os elementos de um edifício sofrem deterioração, em maior ou menor grau, dependendo de diversos fatores, tais como: os materiais de construção aplicados, os métodos construtivos utilizados, as condições ambientais existentes e a forma de uso praticada na edificação. Outra causa responsável por muitas ações de manutenção em edifícios resulta de erros de projeto ou de definição de soluções não adequadas. Apostar na qualidade do projeto do empreendimento, com a implementação de medidas e métodos de controle, bem como a coordenação entre as diversas especialidades. (LEITE, 2009).

Em termos de manutenção, fica clara a corresponsabilização, pois proprietário, investidor e usuário deverão sempre estar dispostos a suportar o custo com o sistema de manutenção concebido pelos projetistas, que deve ser respeitado e viabilizado pelo construtor (SOUZA; RIPPER, 1998).

A ABNT NBR 5674:2012 afirma que o custo é relevante na fase de uso da edificação, sendo que a manutenção não pode ser feita de modo improvisado, esporádico ou casual. Ela deve ser entendida como um serviço técnico perfeitamente programável e como um investimento na preservação do valor patrimonial.

2.7 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Os tipos de manutenção são essenciais para distinguir e programar de forma coerente e correta todas as atividades de manutenção essenciais para que prolongue ou restaure a vida útil do material, equipamento ou construção. Cada manutenção tem de receber um tratamento ou atividade diferente (QUEIROZ, 2015).

As atividades de manutenção de uma organização são baseadas em praticamente três abordagens básicas. A maior parte da produção adota uma combinação delas, pois diferentes elementos têm diferentes características, sendo requisitada uma variedade de soluções e atividades. São estas as mais usuais: a manutenção corretiva e a manutenção preventiva (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

2.7.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva está relacionada aos trabalhos de diagnóstico, prognóstico, reparo e proteção das estruturas que já apresentam manifestações patológicas, ou seja, esse tipo de manutenção serve para correção de problemas evidentes (HELENE, 1992).

Conforme a ABNT NBR 5674:2012, manutenção corretiva é caracterizada por serviços que demandam ação ou intervenção imediata, a fim de permitir a continuidade do uso dos sistemas, dos elementos ou dos componentes das edificações, ou evitar graves riscos e prejuízos pessoais e/ou patrimoniais aos seus usuários ou proprietários.

Os trabalhos de manutenção corretiva são frequentemente usados quando a edificação apresenta evidências de problemas causados por algum fator, ou seja, há necessidade de um diagnóstico prévio do problema, com o intuito de identificar as causas, para então proceder-se à proteção e a técnicas adequadas de correção (HELENE, 1992).

2.7.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é aquela executada inicialmente por meio das informações obtidas pelas inspeções levadas a efeito em intervalos regulares de tempo, de acordo com critérios preestabelecidos de redução das probabilidades de ruína ou de degradação da estrutura, visando a uma extensão de sua vida útil e evitando a queda de desempenho (SOUZA; RIPPER, 1998).

A manutenção preventiva serve para eliminar ou reduzir as probabilidades de falhas por manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) em diversas partes na estrutura em intervalos pré-planejados. As consequências das falhas em serviço são consideradas mais sérias com a falta de manutenção preventiva. Tanto a manutenção periódica de uma ponte quanto a pintura de uma edificação podem ser consideradas como manutenção preventiva (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

Para a ABNT NBR 5674:2012, manutenção preventiva é caracterizada por serviços cuja realização seja programada com antecedência, priorizando as solicitações dos usuários, as estimativas da durabilidade esperada dos sistemas, os elementos ou componentes das edificações em uso, a gravidade e urgência e os relatórios de verificações periódicas sobre o seu estado de degradação.

A manutenção preventiva consiste em executar uma série de trabalhos que tem como finalidade a conservação, seguindo uma programação já preestabelecida. Em um equipamento

ou edificação já construída, existem manuais que fornecem as instruções sobre a manutenção preventiva com a finalidade de que o proprietário ou responsável preze pela qualidade do material. Só empresas maiores e mais qualificadas dispõem de equipes próprias ou terceirizadas para os serviços de manutenção preventiva (MARTINS; LAUGENI, 2005).

Martins e Laugeni (2005, p.468) comentam que existem diversas vantagens da manutenção preventiva, e algumas delas são:

- Aumenta a vida útil dos equipamentos;
- Reduz custos, mesmo a curto prazo;
- Diminui as interrupções do fluxo produtivo;
- Cria uma mentalidade preventiva na empresa;
- É programada para os horários mais convenientes;
- Melhora a qualidade dos produtos, por manter condições operacionais dos equipamentos.

Um programa de manutenção preventiva irá intervir antes que estas apresentem sinais significativos de degradação, devendo ser periodicamente inspecionados para verificar a necessidade de sua manutenção, para que continuem mantendo sua funcionalidade (HELENE, 1992).

Poderão ocorrer casos nos quais as inspeções periódicas sejam complementadas por outras adicionais, específicas a determinadas peças estruturais que, numa dada inspeção rotineira, tenham demonstrado estar com desempenho prejudicado e passam a condicionar, daí em diante, o ritmo das inspeções, e até, em alguns casos, das recuperações (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.8 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Segundo a Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI), os ensaios não destrutivos são constituídos por métodos de análise utilizados para inspeção, ensaio ou avaliação de materiais, componentes e equipamentos, sem destruir ou comprometer partes da peça ou do sistema em avaliação. Conclui-se que, ao final da inspeção ou do ensaio, a peça ou estrutura ainda pode ser usada, pois não houve comprometimento pelo ensaio a que foi submetida (ABENDI, 2019).

Os ensaios não destrutivos são aqueles que, quando realizados sobre peças semiacabadas ou acabadas, não prejudicam nem interferem com o futuro delas. Em outras palavras, são ensaios que não deixam vestígios de sua utilização na peça ensaiada (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2012).

Segundo a ABENDI (2019), é necessário o dever de assegurar que somente uma pessoa certificada esteja envolvida na inspeção por ensaio não destrutivos, pois o profissional está apto e capacitado para tal tarefa e responsabilidade, em termos de confiabilidade, para aplicar os métodos corretamente e interpretar os resultados com a precisão necessária.

2.8.1 Ensaio de Dureza Superficial do Concreto

Conforme a ABNT NBR 7584:2012, a esclerometria é um método não destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação do concreto endurecido.

O método do ensaio se baseia em analisar o impacto entre os dois corpos, sendo um corpo fixo e o outro em movimento, nos quais se aplica uma força com um martelo no concreto, e sua dureza é determinada através do som produzido e pela altura que o martelo sobe após o choque. Com avanços tecnológicos, atualmente utiliza-se o esclerômetro de reflexão (BAUER, 2008).

Segundo a ABNT NBR 7584:2012, o esclerômetro de reflexão consiste fundamentalmente em uma massa-martelo que, impulsionada por uma mola, se choca, através de uma haste, com ponta em forma de calota esférica, com a área de ensaio.

Segundo Tobio (1967) apud Figueiredo (2005), o operador do esclerômetro exerce uma força de compressão sobre o concreto endurecido, fazendo com que ocorra uma liberação da mola de impacto e a massa-martelo, sendo projetada contra o concreto, resultando em um retorno do martelo e fornecendo um número para a escala graduada. Esse número, conforme a ABNT NBR 7584:2012, representa um índice esclerométrico, fornecido diretamente pelo aparelho que serve para definir características naturais do concreto e a resistência à compressão, por meio de curvas ou de tabelas fornecidas pelo fabricante do equipamento.

2.8.2 Ensaio de Carbonatação no Concreto

A carbonatação é um dos problemas mais frequentes de deterioração do concreto armado, o qual está diretamente associado à corrosão das armaduras. Sendo assim, a realização do ensaio de carbonatação é de extrema importância para avaliações de condições estruturais das pontes e dos viadutos de concreto armado, uma vez que estas estruturas se encontram expostas ao dióxido de carbono presente no ar (CAPRARO et al., 2015).

O ensaio de carbonatação serve para determinar a profundidade da frente de carbonatação do concreto que consiste na mensuração do pH em uma superfície do concreto recentemente faturado, livre de poeira ou de resíduos, utilizando uma solução indicadora composta de fenolftaleína (CAPRARO et al., 2015).

Conforme Capraro et al. (2015), a substância fenolftaleína adicionada a uma solução incolor, ao entrar em contato com um meio ácido ou base, muda de cor. Caso seja adicionada a fenolftaleína em um meio ácido, ela fica incolor. Por outro lado, se o meio for básico e acima de 9,3, a solução se torna violeta. Segundo eles, essa solução é composta por 1g de fenolftaleína + 49g de álcool + 50g de água. Posto isso, é utilizada para determinar in situ a profundidade da frente de carbonatação de uma estrutura de concreto. Desta forma, após a aplicação do composto a zona carbonatada, apresenta uma coloração incolor, e a não carbonatada deverá apresentar uma coloração violeta.

3 METODOLOGIA

3.1 ESTUDO DE CASO

No estudo de caso, serão analisados os ensaios de dureza superficial e profundidade de carbonatação no concreto armado dos pilares de um píer antigo, situado no povoado Crasto, município de Santa Luzia do Itanhy localizado a 81,3 km de Aracaju-SE via BR-101, litoral sul de Sergipe e banhado pelas águas do Rio Real, conforme a Figura 9.

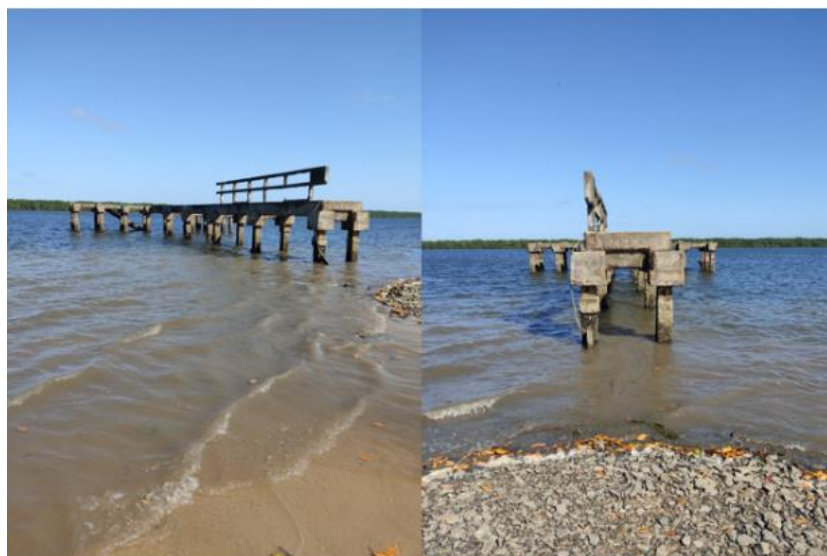


Figura 9 – Píer do povoado Crasto
Fonte: Autor, 2020

O píer foi construído há 30 anos e, devido aos ataques de agentes agressivos prejudiciais para a armadura e para o concreto, são perceptíveis os altos danos que foram provocados à estrutura. Esse trabalho tem como função verificar as condições do píer através dos ensaios não destrutivos.

A estrutura é formada por 30 pilares. Devido à dificuldade de acesso aos outros pilares, somente foram feitos os ensaios no P1 e P2 ao decorrer da maré seca. As dimensões do píer são representadas, conforme a Figura 10.

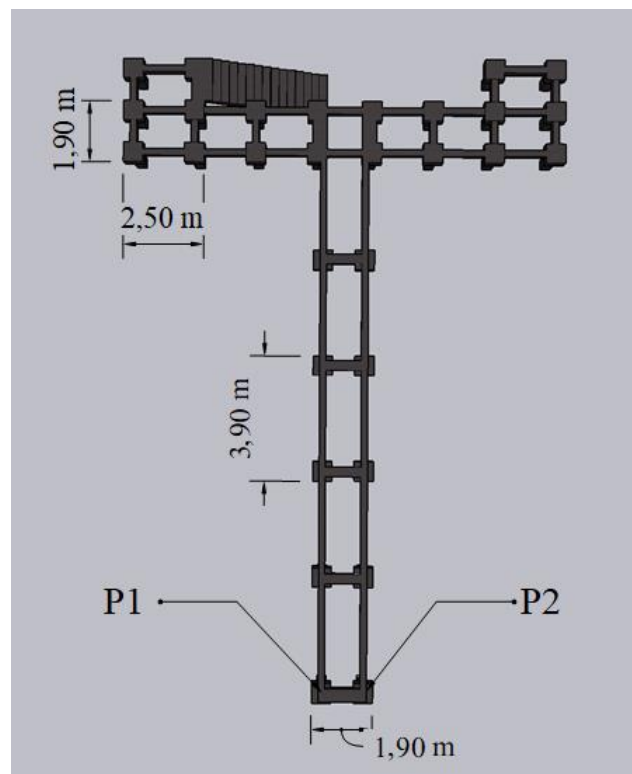


Figura 10 – Representação do píer

Fonte: Autor, 2021

Os ensaios foram realizados nas faces A, B, C e D das zonas: superior, intermediária e inferior (Figura 11). Devido à alta irregularidade resultante da deterioração física do concreto, fator que interfere na precisão do ensaio de esclerometria, as faces e zonas tiveram que ser definidas de forma a se obter melhores resultados

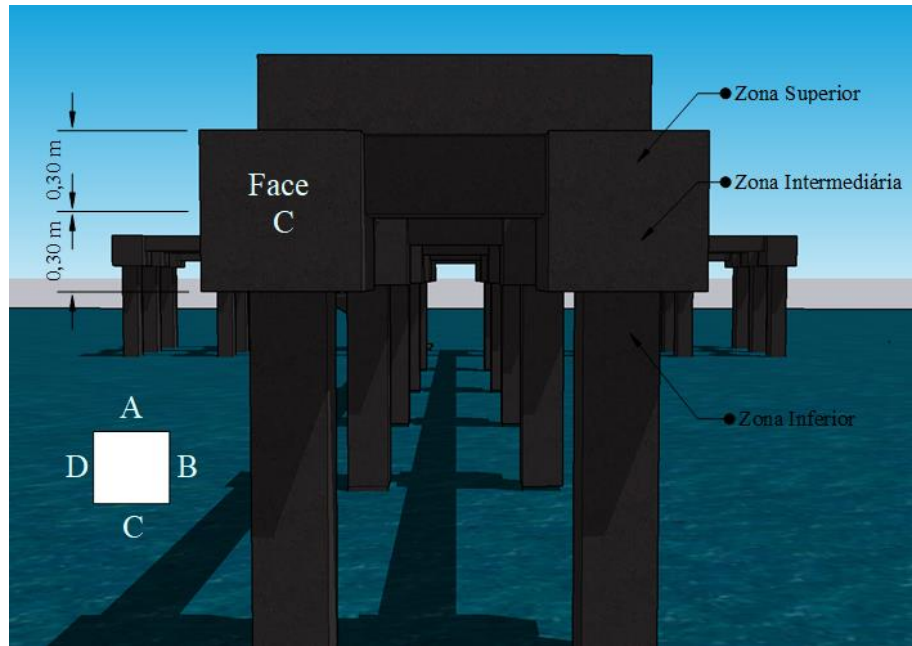


Figura 11 – Representação das faces e zonas do píer
 Fonte: Autor, 2021

Devido à dificuldade de fotografar uma imagem com uma melhor perspectiva, a Figura 12 representa um esboço 3D do píer:

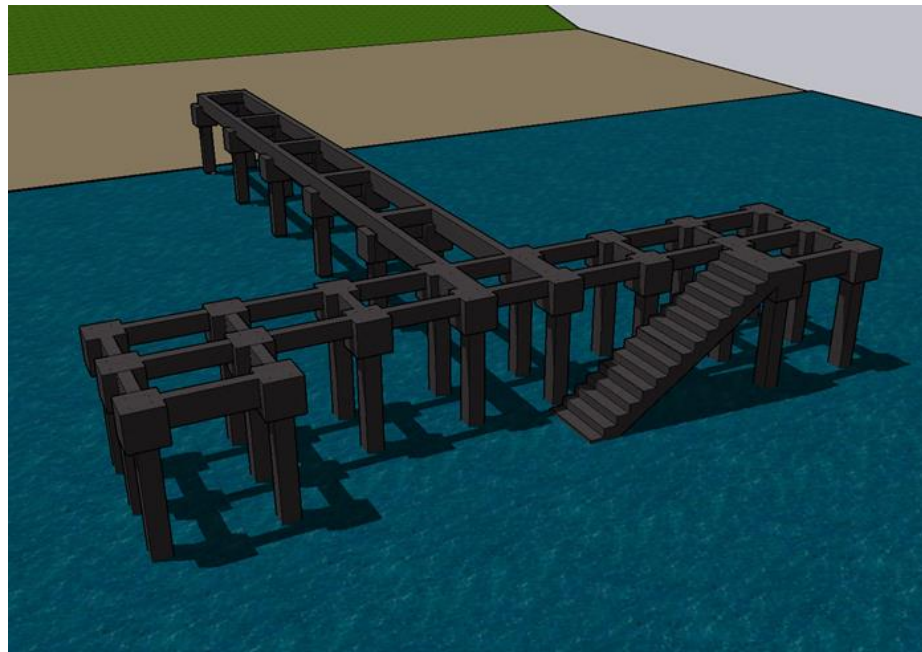


Figura 12 – Esboço 3D do píer
 Fonte: Autor, 2021

3.2 ENSAIO DE DUREZA SUPERFICIAL DO CONCRETO

Inicialmente, o ensaio de dureza superficial foi executado com o esclerômetro analógico Silver Schmidt tipo N na superfície do concreto. À vista disso, segundo a ABNT NBR 7584:2012, a superfície do concreto foi seca ao ar, limpa e, preferencialmente, plana.

Conforme a ABNT NBR 7584:2012, foram feitos, na estrutura, 16 impactos em cada área de ensaio, sendo que a distância mínima entre os centros de dois pontos de impacto será de 30 mm. Durante o ensaio, foram evitados impactos sobre armadura, bolhas e áreas similares. A área de ensaio deve estar limpa; toda poeira e pó superficial devem ser removidos a seco; distar no mínimo 50 mm dos cantos e arestas dos elementos estruturais; e estar compreendida entre 8 000 mm² e 40 000 mm², conforme a Figura 13 representa.

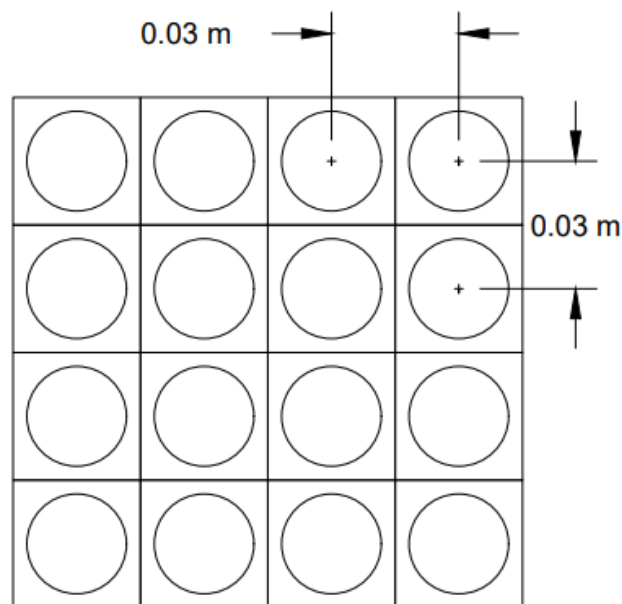


Figura 13 – Área de impacto para o ensaio de esclerometria
Fonte: Autor, 2021

Com a finalidade de organizar e facilitar o entendimento das informações, foi utilizado uma tabela para coleta de dados. Esta é sequencialmente tabelada de X1 a X16, onde apresentam o valor obtido no esclerômetro após a realização de cada impacto, conforme a Figura 14.

X1	X2	X3	X4
X5	X6	X7	X8
X9	X10	X11	X12
X13	X14	X15	X16

Figura 14 – Ilustração da tabela para coleta de dados
Fonte: Autor, 2021

Após a realização do ensaio, segundo a ABNT NBR 7584:2012, a fim de se obter os resultados, fez-se necessário:

- calcular a média aritmética dos 16 valores (impactos) individuais dos índices esclerométricos;
- Desprezar todo índice esclerométrico individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido e calcular a média aritmética;
- O índice esclerométrico médio final deve ser obtido com no mínimo 5 valores individuais. Quando isso não for possível, o ensaio esclerométrico dessa área deve ser desconsiderado;
- Corrigir, se necessário, o valor médio do índice esclerométrico obtido de uma área de ensaio para um índice correspondente à posição horizontal.

Para correlacionar a dureza superficial do concreto com a resistência à compressão axial, utilizou-se o ábaco fornecido pelo fabricante, conforme a Figura 15. Onde os valores do índice esclerométrico é consultado na parte inferior da curva e a resistência em MPa e kg/cm² na parte esquerda e direita. Neste ensaio somente foi usado a curva A, uma vez que os ensaios foram todos realizados com o aparelho na posição horizontal devido à falta de espaço nas partes inferiores da estrutura e dificuldade de acesso nas partes superiores.

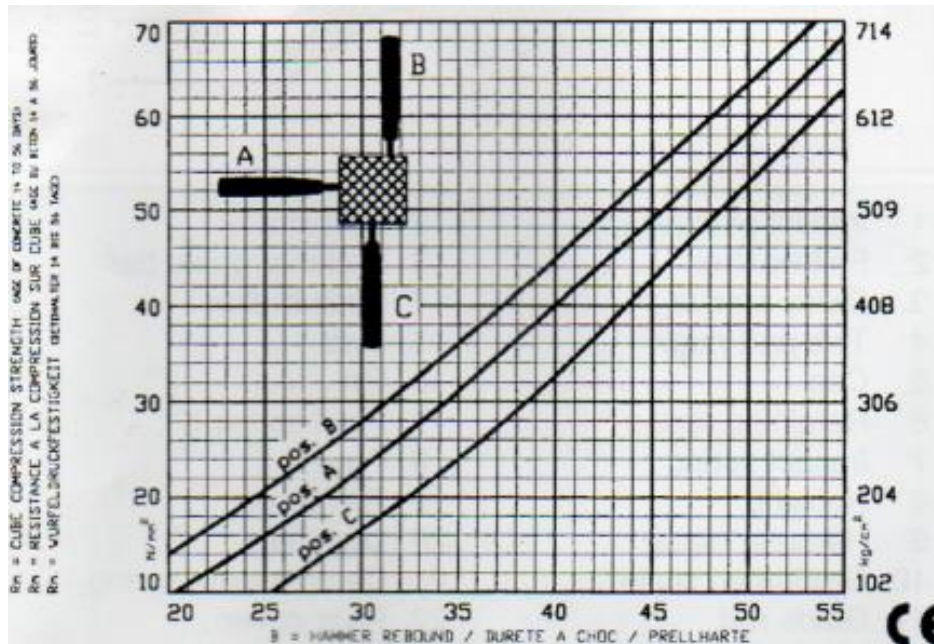


Figura 15 – Curva para correlacionar o IE com a resistência a compressão axial

Fonte: Autor, 2021

3.3 ENSAIO DE CARBONATAÇÃO NO CONCRETO

O ensaio de carbonatação foi feito da forma menos destrutível possível, a fim de extrair o concreto sem causar muitos danos à estrutura. Isto posto, esse ensaio foi realizado com pequenas perfurações com uma profundidade de até 10 cm em partes externas da construção, por se tratar de uma área onde recebe maior concentração de dióxido de carbono e umidade (MOREIRA, 2016).

As perfurações no concreto foram realizadas a cada 0,5 cm de profundidade. Após cada perfuração foi coletado o pó e feito o teste de carbonatação adicionando o composto com a fenolftaleína, e verificando se houve a mudança de cor. Esse procedimento foi executado de forma contínua até o concreto da estrutura apresentar mudanças na cor após o uso do composto (MOREIRA, 2016).

3.4 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados na realização dos ensaios de esclerometria e carbonatação estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Lista de materiais para realização dos ensaios

Broca 11 mm para concreto e alvenaria	Furadeira de impacto BOSCH-GSB-20-2RE
 Fonte: (Ferramentas Gerais, 2014).	 Fonte: (LojadoMercanico, 2021).
Esclerômetro analógico Silver Schmidt tipo N	Gerador de energia NG3000 para local onde não há eletricidade
 Fonte: (Zampa, 2021).	 Fonte: (Submarino, 2021).
Fenolftaleína PA 25g Neon	Giz de cera para marcação
 Fonte: (Shopmedclean, 2021).	 Fonte: (LojadoMercanico, 2021).

Fonte: Autor, 2021

3.5 PROCEDIMENTO DOS ESTUDOS

Os ensaios de dureza superficial e o de profundidade de carbonatação foram realizados nos mesmos locais da estrutura com a finalidade de obter resultados relacionados, pois a carbonatação interfere significativamente o valor da resistência medida no esclerômetro.

Devido à alteração no leito do rio – chamada de maré seca e maré cheia – foram realizados os ensaios em dias diferentes, pois com a maré cheia não é possível realizar qualquer um dos procedimentos. Além de que os ensaios necessitam ser eficientes e precisos para que apresentem resultados os mais próximos possíveis do que estar sendo observado.

Inicialmente foi feito o ensaio de esclerometria, uma vez que o ensaio de profundidade de carbonatação feito primeiro, acarretaria em modificações na superfície da área escolhida. Assim, foi feito as marcações com um giz nas zonas e faces dos pilares P1 e P2 para a realização dos 16 impactos com o esclerômetro, conforme a Figura 16.



Figura 16 – Marcação na estrutura para realização dos impactos com o esclerômetro

Fonte: Autor, 2021

Após a realização do ensaio em cada uma das áreas determinadas, foram realizados o ensaio de profundidade de carbonatação nas mesmas áreas. O ensaio foi executado com uma furadeira de impacto e uma broca de 11 mm para concreto e alvenaria. Devido à falta de energia no local, foi usado um gerador de energia para o funcionamento da furadeira.

Com os equipamentos em mãos, foi possível retirar o concreto pulverizado para a determinação da profundidade da frente de carbonatação presente no local escolhido, onde cada amostra do concreto foi retirada após cada 0,5 cm de furo. Com o uso do composto feito de água, álcool e fenolftaleína foi possível determinar o quanto carbonatado estava cada área escolhida do concreto devido à mudança de cor do composto para violeta, conforme a Figura 17.



Figura 17 – Mudança de cor na estrutura após o uso da fenolftaleína
Fonte: Autor, 2021

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA SUPERIFICIAL

Durante o ensaio de esclerometria obteve-se os resultados de cada impacto realizado nas determinadas zonas e faces dos pilares, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Valores dos impactos com o esclerômetro

Pilar	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2
Zona	Inf.	Inf.	Inter.	Sup.	Inf.	Inf.	Inter.	Sup.
Face	D	B	A	B	D	B	A	B
X1	42	36	40	50	37	45	44	44
X2	40	45	37	48	44	46	54	42
X3	42	42	42	48	42	34	45	52
X4	46	30	42	46	42	41	47	42
X5	48	43	41	46	41	50	48	31
X6	48	44	39	44	46	54	60	42
X7	42	38	38	48	48	40	49	54
X8	44	27	45	54	49	44	48	54
X9	46	38	40	51	47	46	46	52
X10	38	34	39	43	50	52	56	54
X11	37	34	46	46	50	48	46	48
X12	38	42	49	48	47	51	48	50
X13	34	35	35	45	52	42	46	44
X14	42	42	38	50	56	49	55	49
X15	37	42	34	46	51	44	35	46
X16	42	46	38	54	32	46	50	45

Fonte: Autor, 2021

Depois da coleta de dados, os valores encontrados através do esclerômetro serão somados e dividido pelo número de impactos feito, para obtenção de uma média aritmética que será chamada de índice esclerométrico (IE), desprezando, assim, todo valor obtido individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido e calculando a nova média aritmética. A organização dos dados está descrita na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores do índice esclerométrico

Pilar	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2
Zona	Inf.	Inf.	Inter.	Sup.	Inf.	Inf.	Inter.	Sup.
Face	D	B	A	B	D	B	A	B
IE	41,1	40,0	38,1	47,4	46,5	46,0	47,0	51,0

Fonte: Autor, 2021

Após esse processo, o ensaio é finalizado, encontrando a resistência no ábaco do aparelho utilizado através do índice esclerométrico, descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores da resistência

Pilar	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2
Zona	Inf.	Inf.	Inter.	Sup.	Inf.	Inf.	Inter.	Sup.
Face	D	B	A	B	D	B	A	B
Resistência (Mpa)	42	40	36	53	51	50	52	60

Fonte: Autor, 2021

Para uma análise mais apurada para determinação da resistência superficial do concreto que representa o píer, foi feito um tratamento estatístico com os valores das amostras para se obter uma estimativa do intervalo de confiança para todos os pilares da estrutura.

Com o intuito de obter um resultado mais uniforme e preciso, foram colhidas amostras estratificadas, onde consiste em dividir a população em subgrupos (estratos) que apresentem grande homogeneidade em relação a população. Assim, desconsiderando a face B da zona inferior do P1 e P2, os cálculos serão feitos somente com duas amostras diferentes de cada zona totalizando 96 impactos estudados.

Sendo assim, foi feito um histograma para facilitar o entendimento do que está ocorrendo nas zonas dos pilares, onde mostra a frequência (número de amostras) num determinado intervalo de classe (IE). Os intervalos de classes são separados onde o valor corresponde no gráfico indica que o IE assume o valor menor ou igual e até a classe anterior em um intervalo de 31 a 60, conforme a Figura 18.

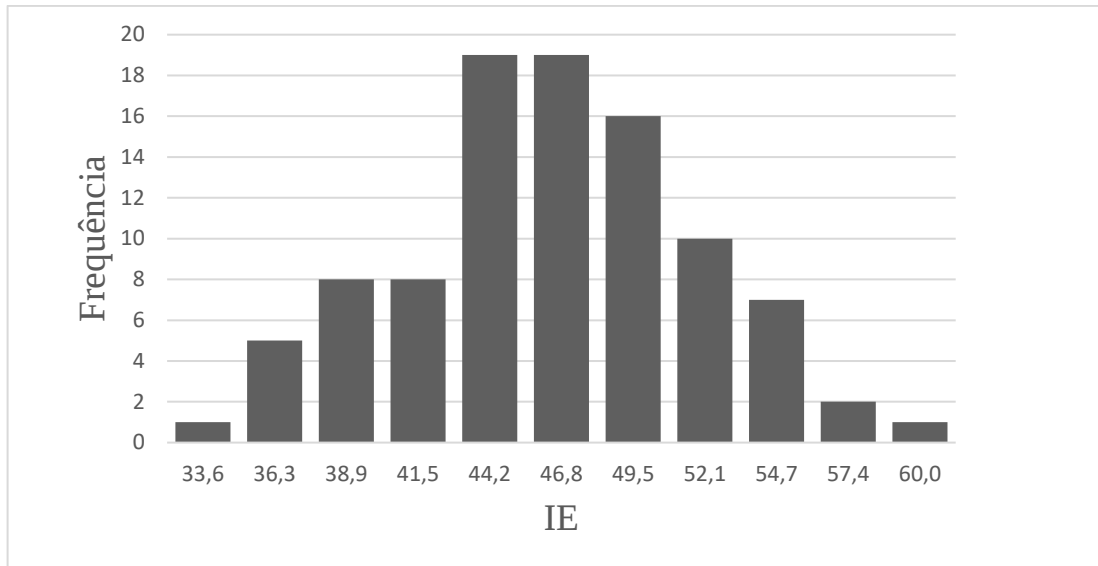


Figura 18 – Histograma de frequência do valor do índice esclerométrico
Fonte: Autor, 2021

Em primeiro lugar, um estudo que visa estimar um intervalo de confiança dificilmente saberá o desvio-padrão populacional. Nessa situação, o próprio desvio-padrão amostral será utilizado. Devido a esses fatores, usaremos a distribuição T-Student para um intervalo de média, considerando um nível de confiabilidade de 99%.

Como a amostra é proveniente de dois pilares, usaremos o número de impactos dividido por dois, com a finalidade de estimar o intervalo de confiança somente para um pilar, aumentando assim o erro-padrão, que resultará em um intervalo um pouco maior, ou seja, mais preciso.

Acima de 30 graus de liberdade, já temos que a T-Student é muito próxima da distribuição normal. O grau de liberdade a ser usado é $n-1$, em que n é o tamanho da amostra. O Quadro 2 apresenta algumas informações que foram usadas no cálculo do intervalo de confiança.

Quadro 2 – Valores usados para o cálculo do intervalo de confiança

$\bar{X}$	45,146
n	48
S	5,662
t_{n-1}	2,685

Fonte: Autor, 2021

Onde:

$\bar{X}$ é a média amostral;

n é o número de impactos;

S é o desvio-padrão amostral;

t_{n-1} é o parâmetro relacionado a graus de liberdade e intervalo de confiabilidade da média, extraído da tabela de distribuição T-Student.

Considerando a hipótese que o histograma de frequência segue uma distribuição T-Student muito próxima da distribuição Normal. A Figura 19 mostra a relação do histograma com a Função de Densidade de Probabilidade (FDP) da distribuição normal.

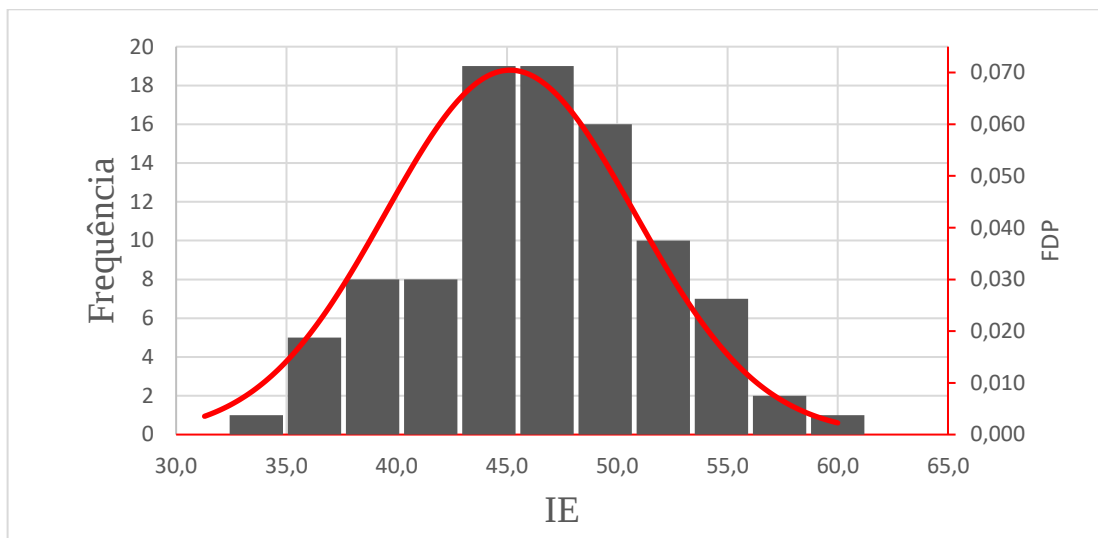


Figura 19 – Relação do histograma com a FDP

Fonte: Autor, 2021

O intervalo de confiança do IE será dado pela seguinte fórmula:

$$IC = \bar{X} \pm t_{n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$IC = 45,146 \pm 2,685 \cdot \frac{5,662}{\sqrt{48}}$$

$$IC = 45,146 \pm 2,194$$

$$42,952 < IC < 47,340$$

Onde:

IC é o intervalo de confiança.

Sendo assim, para a média do IE encontrado nos experimentos, pode-se concluir, com 99% de confiança, que o IE está entre os limites mencionados no IC. O nível de confiança nos dá uma certeza de que em 100 repetições dos mesmos experimentos, 99 deles terão a média dentro de tal intervalo.

Substituindo os valores do IE no ábaco do aparelho utilizado, encontramos o IC da resistência superficial do concreto, sendo:

$$45MPa < IC < 53MPa$$

Outro ponto que podemos verificar nos resultados do ensaio de esclerometria com a ABNT NBR 7584:2012, é que os resultados aumentaram em função da altura do pilar. Com essas informações é possível fazer outra análise, que consiste em relacionar a resistência e a altura do pilar. Portanto, para sabermos a relação dessas duas variáveis, será feito um gráfico de dispersão.

O gráfico será construído com as médias dos IE em diferentes alturas em relação a um ponto do pilar, onde será marcado com uma linha vermelha conforme a Figura 20. Levando em conta essas considerações, a variação de altura assumirá o valor de Δy e a média do IE corresponderá à média dos valores de uma região dentre as 12 regiões.

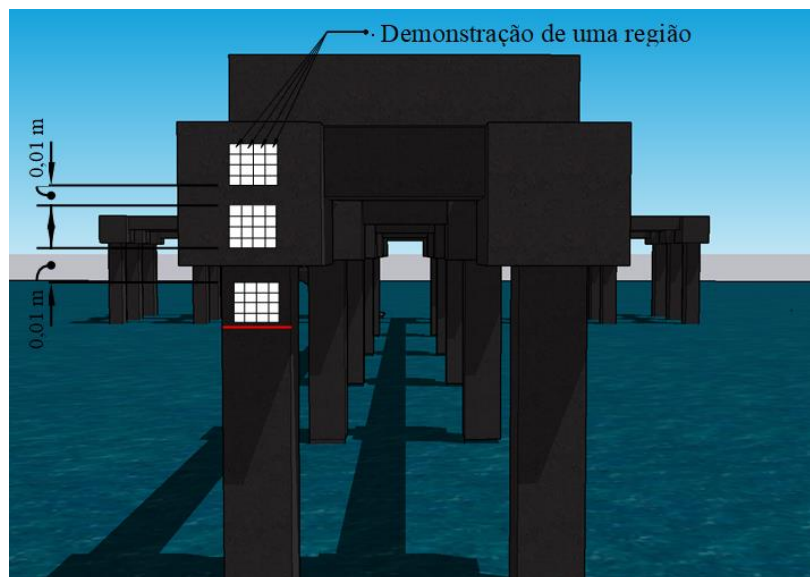


Figura 20 – Representação das regiões
Fonte: Autor, 2021

Caso os pontos das variáveis sejam representados num plano cartesiano e, devido à isso, apresentem uma dispersão ao longo de uma reta imaginária, digamos que os dados apresentam uma correlação linear. Inseridos os valores no gráfico, podemos ver que há uma correlação positiva, pois as duas variáveis movem-se em direções iguais. Onde o grau de relacionamento entre as duas variáveis assume o valor de $R^2 = 0,5353$ e a função de regressão linear é dada por $y = 0,0684x + 42,001$, conforme a Figura 21.

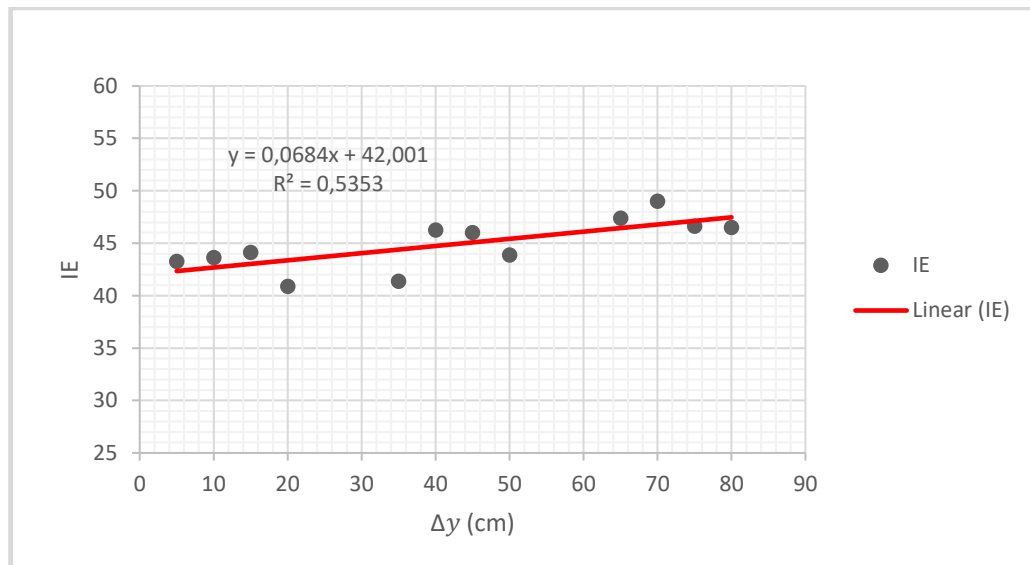


Figura 21 – Gráfico de dispersão entre Δy e IE

Fonte: Autor, 2021

Os dados apresentaram uma correlação moderada entre as variáveis e, conforme a função de regressão linear, o IE variou entre os valores de 42,34 a 47,47. Se usarmos essa função para estimar uma média em cada zona do pilar, podemos compará-la com os resultados obtidos do ensaio da ABNT NBR 7584:2012.

Tabela 8 – Relação entre o índice esclerométrico e a função de regressão linear

Pilar	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2
Zona	Inf.	Inf.	Inter.	Sup.	Inf.	Inf.	Inter.	Sup.
Face	D	B	A	B	D	B	A	B
IE	41,1	40,0	38,1	47,4	46,5	46,0	47,0	51,0
Função de regressão linear	42,9	42,9	44,9	47,0	42,9	42,9	44,9	47,0

Fonte: Autor, 2021

Após esse processo a resistência para a função de regressão linear é encontrada no ábaco do aparelho utilizado através do índice esclerométrico.

Tabela 9 – Relação entre a resistência e a função de regressão linear

Pilar	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2
Zona	Inf.	Inf.	Inter.	Sup.	Inf.	Inf.	Inter.	Sup.
Face	D	B	A	B	D	B	A	B
Resistência (MPa)	42	40	36	53	51	50	52	60
Função de regressão linear (MPa)	45	45	49	52	45	45	49	52

Fonte: Autor, 2021

Através do IC e a função de regressão linear, podemos fazer uma estimativa para os outros 28 pilares. Onde a média da resistência de todas as zonas dos pilares está compreendida entre 45 e 53 Mpa com um nível de confiabilidade de 99% e, conforme a função de regressão linear, a média das zonas: inferior, intermediária e superior, apresentaram valores de 45, 49 e 52 Mpa.

As zonas onde se foram ensaiadas no píer está classificada na ABNT NBR 6118:2014 como uma zona de respingos de maré, sendo assim a classe de agressividade ambiental é a IV, pois apresenta risco de deterioração elevada.

Diante dessas informações, a NBR 6118:2014 indica que o uso mínimo do concreto deve ser o C40 na construção dos pilares, onde devem apresentar resistência superior ou igual a 40 MPa. Como visto anteriormente, a estimativa intervalar para os outros 28 pilares e a função de regressão linear apresentaram ótimos resultados devido ao fato de demonstrarem valores superiores conforme a exigência da norma. Porém, o ensaio de esclerometria realizado conforme a ABNT NBR 7584:2012 na zona intermediária do P1 apresentou baixo valor, mas próximos do valor que deveria apresentar. Isso pode ter sido ocasionado por alguma falha no dia da execução ou alta relação de água/cimento naquele local, fazendo com que a resistência fosse mais baixa naquela área.

Apesar de apenas um local ter apresentado um valor de 10% inferior ao exigido, a estrutura apresenta uma resistência adequada, além de ser uma construção antiga situada em uma classe de agressividade ambiental muito forte.

4.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE CARBONATAÇÃO

Após as amostras serem colhidas, elas foram submetidas ao ensaio de carbonatação com a finalidade de descobrir em qual profundidade a fenolftaleína começa a reagir. Sabendo que, se o meio for básico e acima de 9,3, a solução se torna violeta.

Com essa informação saberemos em qual profundidade do concreto a carbonatação está presente na estrutura. Durante a análise do ensaio de profundidade de carbonatação, obteve-se os resultados de cada furo realizado nas determinadas zonas e faces dos pilares.

Tabela 10 – Profundidade de carbonatação nos pilares

Pilar	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2
Zona	Inf.	Inf.	Inter.	Sup.	Inf.	Inf.	Inter.	Sup.
Face	D	B	A	B	D	B	A	B
Profundidade (cm)	-	-	-	≤ 0,5	-	-	-	≤ 1,0

Fonte: Autor, 2021

Conforme a ABNT NBR 6118:2014, os pilares da estrutura de concreto armado onde se encontram em um ambiente agressivo de classe IV devem ter um cobrimento nominal de no mínimo 50 mm. Diante disto, se a estrutura apresentar um cobrimento de 5 cm, ela estará segura da corrosão por carbonatação. No entanto, existem outros fatores para que ocorra a corrosão da armadura no concreto armado.

Apenas na zona superior do P1 e P2 apresentou uma profundidade de carbonatação menor ou igual a 0,5 e 1,0 cm, conforme a Figura 22. Fator que explica o porquê dessas zonas apresentaram alta resistência em relação as outras, pois, segundo a ABNT NBR 7584:2012, a influência da carbonatação na dureza superficial do concreto é significativa e promove a superestimação da resistência. Em casos extremos, quando há carbonatação, os valores estimados pelo esclerômetro podem superar valores reais em mais de 50%.

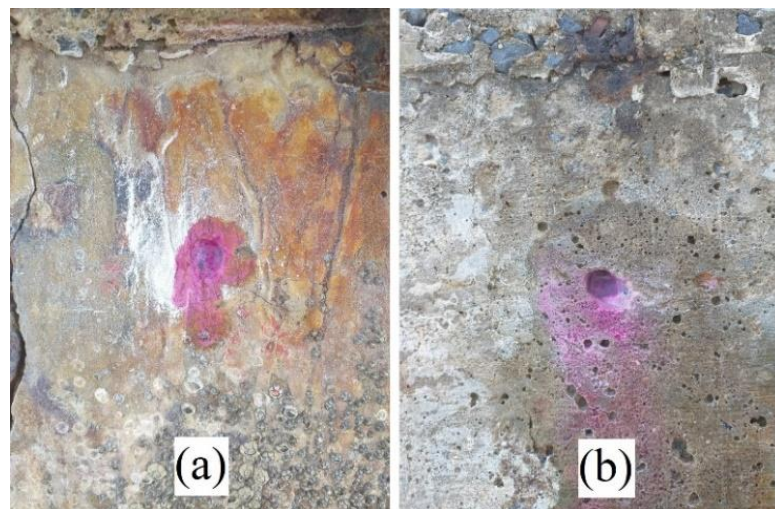


Figura 22 – Profundidade de carbonatação 0,5 cm (a) e 1,0 cm (b)

Fonte: Autor, 2021

5 CONCLUSÃO

Com os resultados desse estudo de caso, é evidente que os ensaios não destrutivos utilizados usam métodos viáveis, rápidos, econômicos, qualitativos, práticos e seguros que facilitam a coleta de dados e informações satisfatórias ao que são destinados, podendo auxiliar em um diagnóstico rápido e eficiente.

O estudo das manifestações patológicas no concreto armado, em especial o de esclerometria é bem interessante, pois podemos relacionar o seu resultado com diversos fatores que os influenciam e, assim, estimar um valor coerente a resistência em relação aos demais resultados.

O ensaio de carbonatação além de interferir significativamente no ensaio de dureza superficial, este também mostra a profundidade de carbonatação presente ao qual a estrutura em concreto está exposta. Esse agente é prejudicial para o aço do concreto armado, ocasionando em corrosão através da despassivação do aço.

É perceptivo que os ensaios não destrutivos apresentam resultados coerentes e de elevada importância para o monitoramento da estrutura, mas conforme o que foi visto, os ensaios precisam ser realizados em conjunto para um melhor diagnóstico da estrutura. Portanto, as combinações de ensaios não destrutivos apresentam melhores opções para identificar as possíveis causas das manifestações patológicas, além de não comprometer a estrutura de maneira física e estética.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. C. C.; CARVALHO, L. G. S. **Corrosão: Estudo de caso sobre ruptura do concreto**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. 10ª ed., V. 4, 2019. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/corrosao>. Acesso em: 08 de jul. de 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. **Guia de inspeção por ensaios não destrutivos**. UCSal, Salvador, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674:2012** – Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 6118:2014** – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 7584:2012** – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 8953:2015** – Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**: Novos materiais para construção civil. 5ª ed. revisada, V.1, Rio de Janeiro, 2008.
- BERTI, J. V. M.; JÚNIOR, G. P. S.; AKASAKI, J. L. **Estudo da origem, sintomas e incidências de manifestações patológicas do concreto**. Revista científica. V. 12, n. 26, 2019.
- BESSA, C. V. D.; JUNIOR, F. A. S. O.; MARINHO, R. O.; MARINHO, R. L. N.; MIRANDA, L. J. C. **Análise da substituição do aço por bambu em estruturas de concreto armado**. Curitiba, v. 6, n. 9, set. de 2020.
- BROCA SDS PLUS 11MM PARA CONCRETO E ALVENARIA 4 CANAIS. **Ferramentas Gerais**. Disponível em: <https://www.fg.com.br/broca-sds-plus-11mm-para-concreto-e-alvenaria-4-canais/p>. Acesso em: 30 de mar. de 2021.
- CAPRARO, A. P. B. et al. **Ensaaios básicos para inspeções rotineiras em pontes de concreto**. Foz do Iguaçu, 2015.
- CHOLFE, L. **Concreto protendido**: teoria e prática / Luiz Cholfe, Luciana Bonilha. 2.ed. São Paulo, 2015.
- CREMONIMI, R. A. **Incidência de manifestações patológicas em unidades escolares na região de Porto Alegre**: Recomendações para projeto, execução e manutenção. Porto Alegre, 1998.
- FENOLFTALEÍNA PA 25G NEON. **Shopmedclean**, 2021. Disponível em: <https://www.shopmedclean.com.br/fenolftaleina-pa-25g-neon>. Acesso em: 30 de mar. de 2021.

FIGUEIREDO, E. P. **Inspeção de Estruturas de Concreto com problemas de Resistência, fissuras e deformações**. IBRACON, São Paulo, 2005.

FIGUEIREDO, E. P.; MEIRA, G. **Boletín Técnico – Corrosión de armadura de estructuras de hormigón**. Merida, 2013.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. **Ensaio dos materiais**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2012.

GERADOR DE ENERGIA NAGANO NG3000. **Submarino**, 2021. Disponível em: <https://www.submarino.com.br/produto/122747647/gerador-de-energia-nagano-ng3000>. Acesso em: 30 de mar. de 2021.

GIZ DE CERA AMARELO 110 X 12MM COM 8 UNIDADES USO PROFISSIONAL - SCHEBOR-R7709001. **LojadoMecanico**, 2021. Disponível em: <https://www.lojadomecanico.com.br/produto/115681/47/706/giz-de-cera-amarelo-110-x-12mm-com-8-unidades-uso-profissional-schebor-r7709001>. Acesso em: 30 de mar. de 2021.

HELENE, P. R. L. **Manutenção para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2ª ed. São Paulo, Pini, 1992.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

LEITE, C. L. A. **Estrutura de um plano de manutenção de edifícios habitacionais: Relatório de projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em engenharia civil — especialização em construções**. Editora FEUP, Porto, 2009.

MAIA, J. A. F. M. **Inspeção e Diagnóstico: tecnologias para a manutenção e reabilitação de estruturas**. ISQ, [20--?].

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MAZER, W. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Apostila. Curitiba, 2018.

MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: Fundamentos, Diagnóstico e Prevenção**. Editora IFPB, João Pessoa, 2017.

MOREIRA, J. D. **Verificação de profundidade de carbonatação em estruturas de concreto – Estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

NAZARIO, D.; ZANCAN, E. C. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal e Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde**. Santa Catarina, 2011.

PEREIRA, C. **O que é Concreto Armado?** Escola Engenharia, 2021. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/concreto-armado/>. Acesso em: 8 de abr. de 2021.

- POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado**: causas, mecanismos, prevenção e recuperação. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais. Janeiro, 2006.
- POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações**: abordagem geral. Revista técnico-científica do CREA-PR. 1ª ed. Curitiba, 2013.
- QUEIROZ, L. M. A. **Planejamento e controle da manutenção aplicados ao processo de manufatura no ramo alimentício**. ENEGEP, Fortaleza, 2015.
- SAHUINCO, M. H.C. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.
- SANTANA, T. M. O. **Inspeção termográfica de patologias em estruturas: estudo de caso – pontes de concreto armado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2017.
- SANTOS, A. V. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido a carbonatação**. Revista Especialize On-line Ipog, v. 1, n. 10, Goiânia, 2015.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- SOUZA, J. L. A. O. **Concreto: material construtivo mais consumido do mundo**. Revista Concreto e Construções. IBRACON, Instituto Brasileiro de Concreto. São Paulo, 2009.
- SOUZA, V. C. S.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª ed. São Paulo, Pini, 1998.
- TEJEDOR, C. M. **Patologias, recuperação e reforço com protensão externa em estruturas de pontes**. 2013. Monografia (Graduação) – Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.
- TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. **Boletín Técnico - Inspección, Diagnóstico y Prognóstico en la Construcción Civil**. Merida, 2013.
- VLADIMIROVICH, K. V. **Carbonatação compromete a durabilidade das estruturas de concreto**. Mapa da Obra. 2017. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/carbonatacao-compromete-a-durabilidade-das-estruturas-de-concreto/>. Acesso em: 26 de jul. de 2020.
- ZAMPA, G. **Ensaio de Esclerometria – Como o Esclerômetro de Reflexão Funciona**. Eng.Civil Gustavo Zampa. Disponível em: <https://www.engenheirocivillondrina.com.br/ensaio-de-esclerometria-esclerometro-reflexao/>. Acesso em: 30 de mar. de 2021.