



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LAURA BEATRIZ NOGUEIRA GOMES

**TÉCNICAS UTILIZADAS EM ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA
INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**

MOSSORÓ

2023

LAURA BEATRIZ NOGUEIRA GOMES

**TÉCNICAS UTILIZADAS EM ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA
INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Rafaely Angelica Fonseca
Bandeira, Profa. Dra.

MOSSORÓ

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G633t Gomes , Laura Beatriz Nogueira Gomes.
Técnicas utilizadas em ensaios não destrutivos
para inspeção de estruturas de concreto / Laura
Beatriz Nogueira Gomes Gomes . - 2023.
42 f. : il.

Orientador: Rafaely Angelica Fonseca Bandeira .
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2023.

1. Fenolftaleína. 2. Resistência. 3.
Esclerômetro. 4. Viabilidade. 5. Carbonatação. I.
Bandeira , Rafaely Angelica Fonseca, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

LAURA BEATRIZ NOGUEIRA GOMES

**TÉCNICAS UTILIZADAS EM ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA
INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 11 / 10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RAFAELY ANGELICA FONSECA BANDEIRA**
Data: 20/10/2023 09:41:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rafaely Angelica Fonseca Bandeira, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **MARIA ARIDENISE MACENA FONTENELLE**
Data: 21/10/2023 14:59:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Maria Aridenise Macena Fontenelle, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO NOGUEIRA DE CODES**
Data: 21/10/2023 20:01:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rodrigo Nogueira de Codes, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Dedico este trabalho a minha família

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Edileusa e Evanilson, que tanto amo, agradeço pelo apoio, confiança, carinho e amor incondicional. Se mostraram sempre presentes, principalmente nos momentos mais difíceis, contribuindo para minha educação e construção pessoal.

A toda minha família, avó, avô, tia, tio, primo e namorado que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Aos meus amigos que contribuíram ao caminhar desta jornada mostrando incentivos e vivenciando momentos inesquecíveis.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a minha formação.

“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.”

Max Weber

RESUMO

O concreto é um material estrutural constantemente utilizado na construção civil, sendo este o mais utilizado no mundo, para fins de execuções estruturais e de acabamento. Esse fato leva a uma maior preocupação quanto ao conhecimento de seu estado de conservação e segurança. O uso de ferramentas de controle e análise de seu estado se faz necessário, uma vez que a identificação preventiva das patologias permite a utilização de métodos mais simples e eficazes para avaliação e conserto. Para tal finalidade, os métodos de Ensaio Não Destrutivo (END) tornam-se imprescindíveis, sendo uma estratégia bastante viável e pouco conhecida. Dessa forma, o presente trabalho possui por objetivo analisar e avaliar a resistência do concreto em um prédio público de acordo com as normas em vigor. Para tanto, foi utilizado o esclerômetro, necessário para obter resultados e verificar se a resistência está adequada e atende aos requisitos para realização de atividades no local, como também a fenolftaleína, um composto químico que é frequentemente utilizado como indicador de pH em soluções ácidas e básicas, bem como analisar e explicar a viabilidade de ensaios não destrutivos. Os resultados apontam que o fck (Resistência Característica do Concreto à Compressão) mínimo exigido pela norma foi atendido, como também a existência de carbonatação causando corrosão em várias partes da edificação.

Palavras-chave: Fenolftaleína. Resistência. Esclerômetro. Viabilidade. Carbonatação.

ABSTRACT

Concrete is a structural material constantly used in civil construction, being the most used in the world for structural and finishing purposes. This fact leads to greater concern regarding the knowledge of its conservation and safety status. The use of control and analysis tools for its condition is necessary, since the preventive identification of pathologies allows the use of simpler and more effective methods for evaluation and repair. For this purpose, Non-Destructive Testing (NDT) methods become essential, being a very viable and little-known strategy. Therefore, the objective of this work is to analyze and evaluate the resistance of concrete in a public building in accordance with current standards. A sclerometer was used, necessary to obtain results and verify whether the resistance is adequate and meets the requirements for carrying out activities on site, as well as phenolphthalein, a chemical compound that is often used as a pH indicator in acidic and basic solutions, as well as analyzing and explaining the feasibility of non-destructive tests. The results indicate that the f_{ck} (Characteristic Resistance of Concrete to Compression) minimum required by the standard was met, as well as the existence of carbonation causing corrosion in several parts of the building.

Keywords: Phenolphthalein. Resistance. Sclerometer. Viability. Carbonation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Funcionamento do esclerômetro	20
Figura 2	–	Representação da frente de carbonatação ao longo do tempo.....	22
Figura 3	–	Classes de agressividade ambiental (CAA).....	23
Figura 4	–	Fatores que influenciam na carbonatação	24
Figura 5	–	Ponto de mudança da fenolftaleína.....	25
Figura 6	–	Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto...	26
Figura 7	–	Localização do prédio de Fitossanidade	28
Figura 8	–	Esclerômetro Controls.....	29
Figura 9	–	Regras da área do ensaio	30
Figura 10	–	Marcação do gabarito e ensaio de esclerometria.....	31
Figura 11	–	Marcação do gabarito e ensaio de esclerometria.....	31
Figura 12	–	Fenolftaleína	32
Figura 13	–	Mistura de fenolftaleína 1%.....	32
Figura 14	–	Ábaco fornecido pelo fabricante	35
Figura 15	–	Áreas analisadas com a fenolftaleína.....	37
Figura 16	–	Áreas analisadas com a fenolftaleína.....	37
Figura 17	–	Espessura da área afetada.....	37
Figura 18	–	Áreas analisadas com a fenolftaleína.....	38
Figura 19	–	Áreas analisadas com a fenolftaleína.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Coeficiente de correção	31
Tabela 2	–	Índice esclerométrico médio.....	34
Tabela 3	–	Índice esclerométrico médio final	34
Tabela 4	–	Índices esclerométricos médios	35
Tabela 5	–	Índices esclerométricos médios	35
Tabela 6	–	Índices esclerométricos médios finais.....	36
Tabela 7	–	Índices esclerométricos médios finais.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Fck	Resistência Característica do Concreto à Compressão
ABENDI	Associação brasileira de ensaios não destrutivos
END	Ensaio não destrutivo
pH	Potencial Hidrognônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Importância da verificação da resistência do concreto	17
3.2	Ensaio não destrutivos	18
3.2.1	Esclerometria	19
3.2.2	Ensaio de carbonatação	22
4	METODOLOGIA	27
4.1	Definição do local de análise	27
4.2	Lista de materiais.....	28
4.3	Ensaio com esclerômetro	29
4.4	Ensaio de carbonatação	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1	Esclerometria	34
5.2	Ensaio de carbonatação	36
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados em obras e em várias organizações brasileiras, sendo o material componente de estruturas de diversos tipos de edificações, fundações, pontes, dentre outros (FIGUEIREDO, 2005).

É imprescindível o controle da qualidade do concreto utilizado nas obras. A análise de qualidade do concreto demanda a realização de diversos ensaios para verificar e comprovar que o material presente na obra está de acordo com parâmetros de aceitação. Como exemplo de ensaios realizados, têm-se os ensaios não destrutivos.

Os Ensaaios Não Destrutivos (END) são utilizados para identificar e avaliar falhas e desgastes nos materiais, são técnicas aplicadas em elementos e equipamentos, sem a necessidade de causar danos. Podendo impedir escoamentos, desabamentos, explosões, e outros acontecimentos. Então, os ensaios estão diretamente relacionados à precaução da segurança e da vida útil, não somente à eficácia e produtividade. São diversas técnicas utilizadas nos ensaios não destrutivos, entre elas destacam-se o ensaio esclerométrico, o ensaio de ultrassom e o ensaio de carbonatação (TELES, 2017).

O ensaio esclerométrico é utilizado para medir a resistência superficial do concreto. Por se tratar de um ensaio superficial, os valores obtidos são representativos de uma camada de 10 cm de profundidade; No entanto, o ensaio é bastante útil verificando se existe um determinado nível mínimo de resistência, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2023), com isso é possível decidir se é preciso ou não fazer ensaios mais complexos. A norma brasileira regulamentadora 7584 (ABNT, 2012), prescreve o método de avaliação de dureza superficial de concreto endurecido pelo uso do esclerômetro.

O ensaio de carbonatação é utilizado para avaliar a durabilidade do concreto, determinando a profundidade de carbonatação do material. A carbonatação é um processo químico em que o dióxido de carbono presente no ar reage com o hidróxido de cálcio do concreto, formando carbonato de cálcio e água. Trata-se de um processo de reação entre o cimento e o dióxido de carbono (CO_2), ocasionando uma queda do pH de equilíbrio 12,5 para 9,5, por conta da entrada dos gases ou água (H_2O) nos poros de concreto, e ao atingir a armadura de aço, ocorre a corrosão, trazendo danos a estrutura de concreto armado, como o aparecimento de fissuras, com isso tende a afetar a sua vida útil (CARMO, 2020).

Esse ensaio é realizado através da aplicação de uma solução indicadora de fenolftaleína na superfície do concreto. De acordo com a NBR 11342 (ABNT, 2012), a

fenolftaleína é um reagente que está na forma sólida, ele é usado em práticas físicas e químicas para indicar o pH, acidez de basicidade, e ainda para indicar corrosão, encontrando-se como um sólido branco, é utilizado na forma líquida em solução alcoólica a 1%, em 70% álcool etílico e 29% água destilada, formando uma coloração local, que indica a profundidade de carbonatação no concreto aplicado, não é solúvel em água, pois só dilui em álcool etílico. O ensaio de carbonatação é amplamente utilizado na indústria da construção civil para avaliar a vida útil de estruturas de concreto, como pontes, edifícios e barragens. Ele fornece informações importantes sobre a penetração de dióxido de carbono no concreto, permitindo que sejam tomadas medidas preventivas para evitar danos futuros. (ABNT, 2012).

O ensaio de ultrassom é realizado para detectar descontinuidades no material, essa ausência de continuidade causa um sinal sonoro ou um eco. Os ensaios são relativamente fáceis de serem conduzidos e tem por finalidade medir o tempo de duração que um pulso ultrassônico precisa para atravessar por completo uma superfície de concreto. Este ensaio pode ser considerado como um dos mais prósperos para a inspeção de estruturas de concreto (RAMOS, 2019).

Portanto, a realização de testes laboratoriais é imprescindível para confirmar se a resistência do concreto é a mesma prevista em projeto e nas normas técnicas. O domínio da qualidade é fundamental para garantir a vida-útil da estrutura e a segurança dos ocupantes do local.

Com a realização dessa pesquisa aqui proposta, espera-se contribuir de forma significativa com a viabilidade das técnicas mostradas tanto para a universidade, quanto para demais locais, mostrando resultados e formas de prevenções e reparos de danos nas estruturas de concreto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo desse estudo é verificar a resistência do concreto do prédio de laboratório de uma universidade pública, em Mossoró-RN, analisando a importância de ensaios não destrutivos e comparando os dados técnicos com as normas técnicas em vigor.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar ensaios de esclerometria e carbonatação;
- Analisar normas técnicas a fim de verificar a resistência do concreto;
- Explicar os benefícios e viabilidade de ensaios não destrutivos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Importância da verificação da resistência do concreto

O concreto empregado em obras de pequeno, médio e grande porte, é formado basicamente por um aglomerante (cimento), água, agregado miúdo (areia) e um agregado graúdo (pedra britada), sendo possível adicionar a essa mistura determinados aditivos que lhes acrescentam características com o objetivo de melhorar ou modificar suas propriedades básicas. O parâmetro preponderante necessário para o controle de qualidade do concreto, resultado dessa composição, é a sua resistência característica a compressão F_{ck} (BASTOS, 2019).

O concreto é um material frequentemente utilizado na construção civil para execução de elementos estruturais e de acabamento. Estruturas de concreto possuem duração e precisam continuar cumprindo suas funções, durante uma vida útil ou um período de tempo específico, como manter a resistência técnica e a condição de utilização. Todavia, a duração não é infinita, sequer o concreto é resistente a qualquer tipo de ação. “O concreto só é considerado durável quando for capaz de suportar o processo de deterioração a que está exposto” (NEVILLE, 2016).

Ainda de acordo com Neville (2016), as ações às quais o concreto precisa ser resistente são chamadas de ações estruturais. Essas ações incluem: Ações permanentes que diz respeito ao peso próprio da estrutura, peso dos elementos fixos, como paredes e pisos, e cargas permanentes, como móveis fixos; Ações variáveis que são as cargas móveis, como pessoas, móveis e equipamentos; Ações climáticas como o vento, chuva, neve, temperatura, entre outros; Ações sísmicas; Ações térmicas que podem causar dilatação ou contração do concreto e ações de impacto que diz respeito as cargas repentinas e de curta duração, como explosões ou colisões.

Segundo Cánovas (1988), a homogeneidade e a densidade do concreto armado dependem da qualidade, da dosagem do concreto e da tecnologia correta aplicada em sua produção. Como também, essas características estão relacionadas com a estabilidade as resistências mecânicas e a durabilidade deste concreto.

Dessa forma, existe uma crescente preocupação quanto a percepção de seu estado de degradação, o que desperta a busca por métodos que permitam avaliar estruturas acabadas. Portanto, é necessária a avaliação frequente das estruturas de concreto e constantemente são necessários o reparo e a manutenção das mesmas. A detecção preventiva dos problemas

concede a possibilidade de se utilizar métodos mais econômicos e eficazes para avaliação e reparo (FIGUEIREDO, 2005).

Visto que o concreto é parte essencial dos mais variados projetos de engenharia e o elemento estrutural mais empregado no mundo, existem diversos métodos de avaliação do seu estado de conservação. O uso de métodos de ensaios não destrutivos é uma forma de proporcionar a verificação e a avaliação do estado de conservação de construções civis, de forma eficaz e econômica (SOUZA, 2009).

3.2 Ensaios não destrutivos

Os ensaios não destrutivos como seu nome sugere, tem por finalidade testar algo sem destruir ou colocar em risco. Estruturas como pontes precisam ser testadas regularmente sem desativação, partes críticas da ponte também são verificadas constantemente, quanto a sinais de rachaduras. A construção em caixa da ponte, ou *deck*, contém centenas de milhares de pontos de solda que devem ser inspecionados regularmente, quanto a defeitos superficiais ou internos. Este teste é feito com o uso de inspeção de partículas magnéticas e ultrassom. As ferrovias também dependem de Ensaios não destrutivos (ENDs), para o funcionamento eficaz, para isto é utilizado também o teste de ultrassom para verificar se há defeitos no trilho (FIGUEIREDO, 2005).

De acordo com a Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção – ABENDI (2018), os Ensaios não destrutivos (END) são técnicas que visam preservar a sociedade, a indústria e o meio ambiente e são usadas na verificação de ferramentas para identificar discontinuações e defeitos.

Os ENDs são ensaios executados em materiais acabados ou semiacabados, existem diversos modos e utilidades no mercado. Tem por finalidade averiguar se há presença de imperfeições ou falhas, sem modificar suas características físicas, químicas ou mecânicas sem causar interferências posteriores (EQUIPE TÉCNICA SGS, 2018).

Existem diversos benefícios e vantagens que os ensaios não destrutivos apresentam para controle de qualidade em vários âmbitos. Esses, permitem a verificação de componentes e estruturas por inspetores qualificados em campo, abastecidos de equipamentos de alta confiabilidade e calibrados, colaboram para o acompanhamento da qualidade dos serviços, custo-benefício, conservação da vida e do meio ambiente. Os ENDs fornecem informações sobre a proporção de defeitos de uma peça, monitoração do desgaste em equipamentos e

características tecnológicas de um material, compõe uma das mais confiáveis ferramentas para controle de qualidade de materiais (FIGUEIREDO, 2005).

Os ensaios são conduzidos com base em normas e parâmetros convencionais, em que todos têm a sua metodologia, na qual apresentam as rigorosas diretrizes de segurança. Como também, a utilidade propicia dados técnicos de qualidade com ótimo custo-benefício.

Alguns dos principais ensaios desse tipo são os ensaios de ultrassom, ensaio visual, esclerometria, emissão acústica, carbonatação, partículas magnéticas, entre outros. Nesse trabalho foram estudados os métodos de carbonatação e esclerometria, devido a viabilidade dos materiais necessários.

3.2.1 Esclerometria

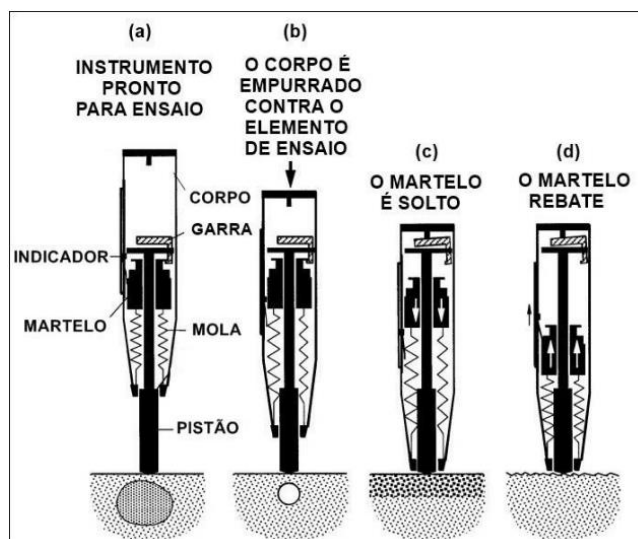
O esclerômetro de reflexão ou esclerômetro de Schmidt, alcunha recebida em homenagem ao seu criador Ernest Schmidt um engenheiro suíço, é o aparelho usado no método não destrutivo da estrutura denominado de esclerometria. Este método é bastante divulgado e antigo, ele possibilita medir a dureza superficial do concreto, fornecendo dados para a avaliação da resistência do concreto endurecido (ALMEIDA, 2020).

O esclerômetro é conhecido por ser um aparelho portátil, simples e de baixo custo. No Brasil a norma em vigor que estabelece os requisitos para execução da esclerometria de reflexão é a NBR 7584 (ABNT, 2012).

O método é um processo simples que consiste fundamentalmente de um martelo controlado por mola que transmite uma carga a um êmbolo, este impacta em uma superfície de concreto com uma determinada energia, parte dela é conservada elasticamente, dando fim ao impacto, e então é medido o retorno ou rebote do martelo (GALVÃO, 2019).

De acordo com Silva (2017), o método é um processo simples que consiste principalmente de um martelo controlado por mola que transmite uma carga a um êmbolo, como é apresentado a seguir na Figura 1. Baseado no princípio do rebote, ou seja, uma mola, ao voltar para a posição de equilíbrio, faz com que um martelo com uma massa definida se desloque, colidindo contra a superfície de um objeto que apresenta uma maior massa. Como consequência, a deformação da mola é medida através de extensômetros, que se encontram no interior do aparelho. A deformação medida fornece o índice esclerométrico, que é encontrado no próprio aparelho.

Figura 1. Funcionamento do esclerômetro.



Fonte: Gabriel Moreira Galvão, (2019).

Como mostra a Figura 1, na primeira demonstração do esclerômetro (a), o instrumento está pronto para o ensaio, com sua haste (pistão) totalmente esticada. Na demonstração dois (b), o corpo é empurrado contra o elemento de concreto, e essa ação faz com que a mola seja tracionada e o conjunto martelo e trava (garra) seja levada até a base superior. Na terceira demonstração (c), o conjunto garra e martelo chegam ao ponto limite, ocorre o destravamento e o martelo é solto, simultaneamente toda energia colocada inicialmente na mola é cedida, contra o elemento de concreto, fazendo com o que haja um impacto de massa específica. Na última demonstração (d), logo depois do impacto o martelo rebate, acontecerá à reflexão do martelo (retração) segundo a dureza superficial do elemento de concreto fazendo com o que o indicador seja ativo, e o mesmo dará a força do impacto que varia de 10 a 100 em escala linear (ALMEIDA, 2020).

O método esclerométrico, não pode ser usado de modo que substitua outros métodos, mas sim como um método adicional ou um ensaio complementar (ABNT, 2012).

A distância do ricochete (índice esclerométrico) é gravada pelo indicador. O índice esclerométrico, antes do impacto com o pistão, e da parte de energia incorporada pelo concreto no impacto conecta-se a energia cinética existente no martelo. Essa energia vem da relação tensão-deformação do concreto ensaiado, a mesma tem relação direta com a rigidez do concreto. Nesse intuito, quanto menor a resistência do concreto, menor o ricochete (GALVÃO, 2019).

Conforme a ABNT NBR 7584 (2012), existem quatro tipos de esclerômetros, para uso em determinadas áreas, a escolha deve seguir os critérios em concordância com as

características do elemento estrutural e de acordo com o maior ou menor grau de precisão esperado, entre quatro tipos de esclerômetros com suas variações de energia de percussão, que são os de 30 N.m (Newton metro), 2,25 N.m 0,9 N.m e 0,75 N.m. O de 30 N·m é mais indicados para obras com vastos volumes de concreto, o de 2,25 N·m com ou sem fita registradora automática, é apropriado para casos usuais de construção de elementos estruturais e edifícios, já o de de 0,90 N·m é apropriado para concretos com baixa resistência, por fim o de 0,75 N·m que já é mais indicado para elementos de concreto com pequenas dimensões e frágeis aos golpes.

São várias as vantagens do esclerômetro, ele possui um pequeno valor de aquisição, é flexível por sua leveza, e possui o benefício de alcançar uma quantidade de dados de forma rápida sem causar danos a estrutura com relação a outros métodos não destrutivos e destrutivos, e sua utilização é simples (ALMEIDA, 2020).

Os testes com o esclerômetro podem ser confrontados em estruturas novas ou antigas. É capaz de realizar o acompanhamento da resistência do concreto nas estruturas atuais e sua qualidade ao longo do tempo, e nas estruturas antigas pode ser usado para verificar a capacidade de aguentar os esforços (JORGE apud ALMEIDA, 2020).

Antes de ser utilizado ou a cada 300 impactos feitos na mesma inspeção o esclerômetro deve ser verificado. É preciso executar pelo menos 10 impactos em uma bigorna especial de aço, com massa de aproximadamente 16 kg, atingindo-se índices esclerométricos de 80. Quando esses impactos não atender valor maior que 75, e os índices de forma individual ser diferente de ± 3 do índice médio, o aparelho não está apto para ensaios sendo necessário a ajustagem do aparelho. O índice esclerométrico é uma unidade adimensional, obtido pelo equipamento (ABNT, 2012).

Ainda de acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2012), o coeficiente de correção do índice esclerométrico é calculado pela equação 1.

$$k = \frac{n \cdot I_{Enom}}{\sum_{i=1}^n I_{Ei}} \quad (1)$$

Onde:

k – é o coeficiente de correção do índice esclerométrico;

n – representa a quantidade de impactos na bigorna de aço;

IE_{nom} – o índice esclerométrico nominal do esclerômetro na bigorna, disponibilizado pela fabricante;

IE – é o valor encontrado a cada impacto na bigorna de aço.

3.2.2 Ensaio de carbonatação

O concreto feito com cimento Portland comum é um material muito alcalino. Logo depois da produção, possui um pH por volta de 11 ou 12, o que significa ser bom para a estrutura de concreto armado, pois a alcalinidade protege a barra de aço que está presente na estrutura, impedindo que ocorra sua oxidação, com o não favorecimento do surgimento de reações de corrosão nas armaduras (CARMO, 2020).

O ar que respiramos é composto por diversos gases, como: nitrogênio, oxigênio, gás carbônico e outros em menor quantidade. Esses gases tem a capacidade de penetrar nos poros do concreto, principalmente quando há pequenas fissuras ou trincas e o ar consegue por meio delas entrar na estrutura. Diante disso, quando existe a presença de H_2O (água), a umidade acaba acarretando a passagem desses gases no ar para o interior da estrutura (SARMENTO, 2019).

De acordo com Granato (2002), no meio úmido acontecem reações químicas que darão origem ao carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de Magnésio ($MgCO_3$). O processo que está ocorrendo é a transformação dos hidróxidos em carbonatos que se dá o nome de carbonatação, a mesma é responsável pela queda do pH do concreto, como é mostrado na Figura 2.

Figura 2. Representação da frente de carbonatação ao longo do tempo.



Fonte: Félix, (2015).

No ambiente urbano a concentração de gás carbônico é muito elevada, em lugares fechados como estacionamentos, porões ou lugares com pouca ventilação, como também em viadutos e trincheiras (GRANATO, 2002).

A NBR 6118 (ABNT, 2023) dispõe de uma tabela que indica as classes de agressividade ambiental. Essas classes auxiliam na definição dos requisitos de durabilidade e na escolha dos materiais e técnicas de proteção adequados para cada ambiente, como mostra a Figura 3.

Figura 3. Classes de agressividade ambiental (CAA).

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 ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

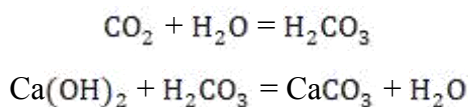
^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118, (2023).

Segundo Macedo (2020), a carbonatação é um fenômeno lento que é provocado pelas reações químicas resultantes da interação entre componentes como H_2O (água) e a cal livre $Ca(OH)_2$ (hidróxido de cálcio), presentes nos poros do concreto, e o CO_2 (dióxido de carbono) presente no meio ambiente, quando o mesmo entra em contato com o concreto, reage com a água formando um composto chamado ácido carbônico (H_2CO_3), que apresenta um baixíssimo pH. Ao reagir com o hidróxido de cálcio, esse ácido resulta em carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e água, dando origem à carbonatação, um pH neutro. Uma das consequências dessa reação é a redução do pH do concreto de valores ideais entre 12,6 e 13,5 para números próximos de 8,5. A seguir é possível visualizar o esquema da reação de forma mais clara (SARMENTO, 2019).

Poros de Concreto $\rightarrow H_2O$ e $Ca(OH)_2$

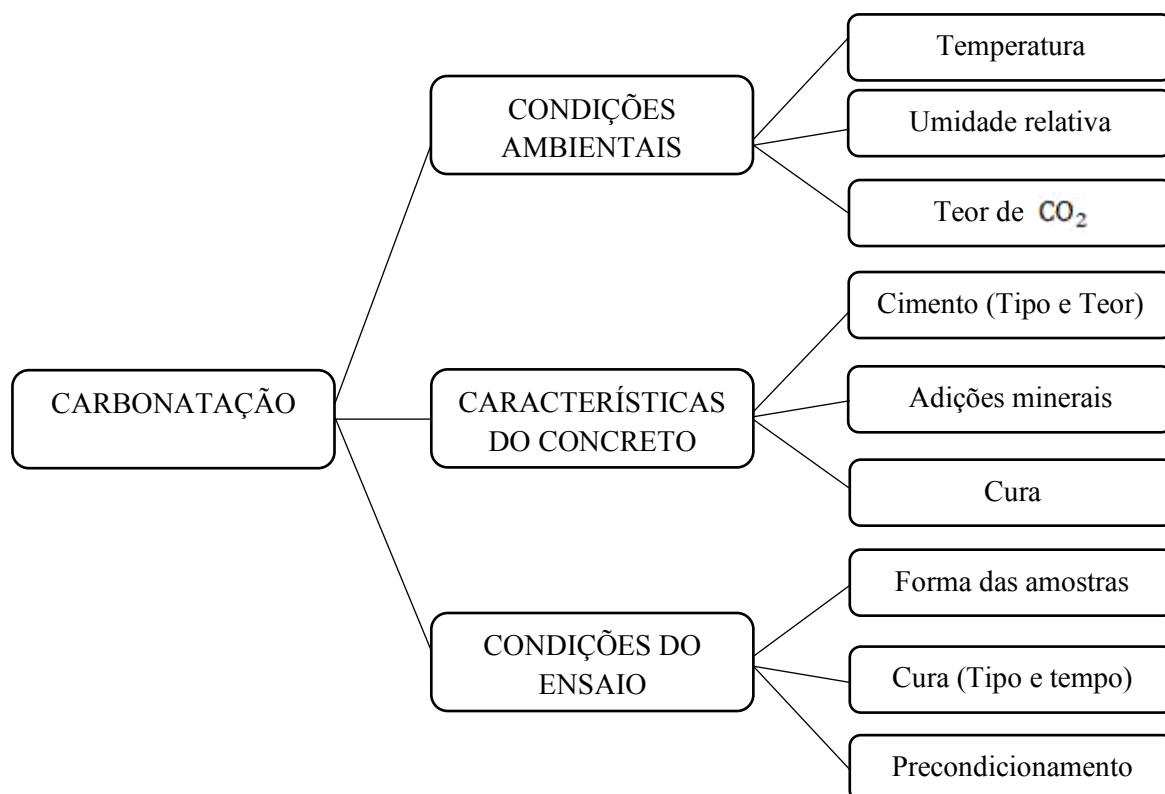
Meio ambiente $\rightarrow CO_2$



Fonte: Sarmento, (2019).

Sabendo disso, quando esta queda do pH do concreto de cobrimento de aproximadamente 12 para 8,5 atinge a armadura, há condições para a sua despassivação e o início de um processo corrosivo. Quando o concreto se mantém úmido, entre teores de 50% a 75%, ocorre em velocidade significativa, ou seja, acelera ainda mais o processo, colocando em risco toda a estrutura (GRANATO, 2002). Existem alguns fatores que influenciam na carbonatação, a seguir é possível visualizar com a representação da Figura 4.

Figura 4. Fatores que influenciam na carbonatação.



Fonte: Adaptado de PERIM, (2013).

A carbonatação é mais frequente quando é logo após um período que apresenta clima de chuva, passando para um período quente e seco, a mesma pode causar diversos danos na estrutura na estabilidade como um todo, é fundamental garantir a qualidade da cobertura de concreto, uma vez que nesta região da estrutura ocorre carbonatação. Tornando-se importante a realização do ensaio com a fenolftaleína para fins de consultoria (NEVILLE, 1997).

São inúmeros os problemas e danos que são causados, como destacamento do cobrimento do aço, fissuração ou trincas do concreto, redução da seção da armadura, como também a perda de aderência da mesma com o concreto (CARMO, 2020).

Para Granato (2002), é comum realizar o processo do ensaio de fenolftaleína para medir a profundidade da carbonatação e detectar o pH da estrutura. Esse método é considerado o método mais coerente para fins de consultoria, onde é aplicada a fenolftaleína na superfície. A fenolftaleína é um identificador de pH que em contato com meios básicos tem a capacidade de alterar sua coloração de incolor para rosa. Um concreto com boa qualidade tem em seu interior pH superior a 12, quando aplicado no concreto, a parte que apresenta a tonalidade rosa indica que o concreto não está carbonatado, apontando um concreto bom. Já a parte que se encontrar incolor significa que o concreto está carbonatado, sendo capaz de causar corrosão nas armaduras desse elemento estrutural na hipótese de que a área esteja em contato com as armaduras, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5. Ponto de mudança da fenolftaleína.

Valores de pH													
Fenolftaleína													
	≤14	≤13	≤12	≤11	≤10	≤9	≤8	≤7	≤6	≤5	≤4	≤3	≤2
													≤1

Fonte: GRANATO, (2002).

Diversas práticas necessitam ou podem ser usadas para conter ou até mesmo diminuir o risco do aparecimento de problemas. O controle de qualidade deve se dar desde o desenho do traço até a cura do concreto, como também a averiguação visual ou por meio de ensaios (SARMENTO, 2019).

Na maior parte dos casos, o processo bem feito de colocação e compactação dos agregados e a utilização de aditivo ajudam na diminuição de água no traço do concreto. O engenheiro Thomas Carmona, diretor da Carmona Soluções de Engenharia e da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (Abece), diz que “Ao reduzir a quantidade de poros, dosagens com menor relação água cimento terão menores velocidades de carbonatação, podendo ser usados aditivos que proporcionem ainda maior impermeabilidade” (SARMENTO, 2019).

A partir da determinação da classe de agressividade ambiental, na Figura 3 já apresentada, é possível determinar, a partir da Figura 6, a relação água/cimento máxima e a classe de resistência do concreto.

Figura 6 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. ^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. ^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

Não menos importante, é a posição certa da armadura que necessita respeitar o cobrimento especificado no projeto, outro aspecto diz respeito a qualidade do serviço é imprescindível para a incidência de carbonatação e está diretamente ligada às etapas de lançamento, adensamento e cura do concreto (SARMENTO, 2019).

4 METODOLOGIA

Para essa pesquisa foram realizadas as seguintes etapas:

- Levantamento bibliográfico;
- Definição da edificação a ser analisada;
- Levantamento da planta baixa da edificação selecionada;
- Medir a resistência do concreto;
- Imagens das patologias;
- Identificação de inadequações à Norma;
- Proposição de melhorias para adequação à Norma;
- Métodos de recuperação e reforço da estrutura.

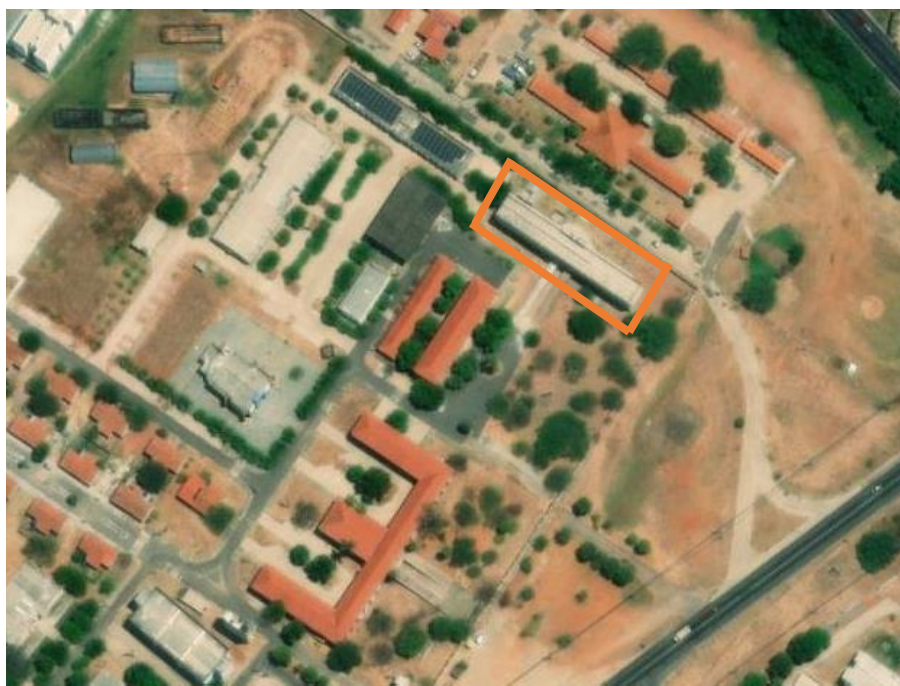
Inicialmente no levantamento bibliográfico foram abordados os conceitos e cálculos necessários para melhor compreensão do tema da pesquisa, apresentando a base teórica adotada. Para tal foram consultados livros, normas da ABNT em vigor, artigos científicos e dissertações.

4.1 Definição do local de análise

A edificação de estudo desse trabalho trata-se de um prédio público, devido ser um local de acesso constante por alunos, professores, dentre outros, também pela tipologia arquitetônica, idade de construção e localização. Procurou-se uma edificação que atendesse aos requisitos do esclerômetro de carga de percussão de 2, 25N.m, de acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2012).

A referida edificação está localizada no município de Mossoró-RN, mais precisamente na latitude -5.201521 e longitude -37.325490. A Figura 7 mostra a edificação supracitada.

Figura 7. Localização do Prédio de Fitossanidade.



Fonte: Autoria própria, (2023).

A edificação analisada possui uma área construída de aproximadamente 1784 m², foi inaugurada em 1976 e passou por reforma. No que diz respeito à ocupação, a edificação é classificada na categoria D1 – (Local para prestação de serviço profissional ou condução de negócio), quanto à altura, a edificação é classificada conforme o Corpo de Bombeiros Militar na Classe III – Edificação de Baixa a Média – (Altura entre 6 m e 12 m).

Além das características relatadas, é válido destacar que a edificação em questão possui 3 pavimentos (Térreo, Primeiro e Segundo Pavimento). O edifício foi construído utilizando concreto armado, com o suporte de lajes, vigas e pilares. Além disso, as vedações são constituídas por tijolos cerâmicos comuns, de modo que foram utilizadas duas fiadas de tijolo, o que confere maior robustez aos elementos de vedação. O sistema de piso da edificação é composto por revestimento cerâmico antiderrapante, ideal para evitar acidentes. No que diz respeito aos forros, estes foram realizados utilizando gesso.

4.2 Lista de materiais

Para o ensaio de esclerometria:

- Aparelho esclerômetro;
- Fita adesiva;

- Trena métrica.

Para o ensaio de carbonatação:

- Fenolftaleína;
- Álcool Etílico;
- Balança de precisão;
- Broca de diamante;
- Pincel;
- Régua;
- Borrifador.

4.3 Ensaio com esclerômetro

Logo após a caracterização do local, foram realizados testes com o uso do aparelho esclerômetro, da marca Controls, modelo 58-C0181/N. Este modelo é para estimar a dureza superficial para elementos de concreto, mostrado na Figura 8, e utilizados materiais como fitas para demarcação dos impactos, como também pedra disponibilizada no próprio aparelho e pincel para realizar a limpeza da área analisada.

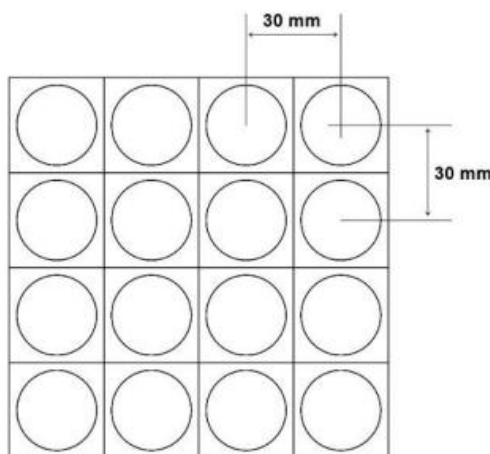
Figura 8. Esclerômetro Controls.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Existem recomendações a serem seguidas na realização do ensaio. Para tal, evitar leituras a distâncias menores que 5 centímetros das arestas, efetuar 16 impactos a cada área, não realizar mais de um impacto no mesmo ponto, usar a distância mínima entre impactos de 3 centímetros, como mostra a figura 9 (ABNT, 2012).

Figura 9. Regras da área do ensaio.



Fonte: NBR 7584 (ABNT, 2012).

Segundo a NBR 7584 (ABNT, 2012), o aparelho de reflexão deve ser aferido antes de sua utilização ou a cada 300 impactos realizados em uma mesma inspeção. Para execução desse trabalho, utilizou-se um esclerômetro seminovo e calibrado de fábrica, apresentando-se assim um fator de correção igual a 1. Esse fator de correção é calculado com base em comparações entre os valores medidos e os valores de referência conhecidos. Ele é utilizado para ajustar os dados medidos, de forma a torná-los mais precisos e confiáveis. Para auxílio no desenvolvimento dos cálculos e análises do estudo, configurou-se através do software Microsoft Office Excel uma tabela para coeficiente de correção do índice esclerométrico, que precisa ser atualizado após a quantidade máxima de impactos exigidos pela norma. Os dados apresentados na Tabela 1, são referentes aos 10 impactos que devem ser realizados em uma bigorna de aço, já o 80 é referente ao valor esperado, caso esses impactos não atendam um valor maior que 75, o aparelho não está apto para ensaios.

Tabela 1. Coeficiente de correção.

COEFICIENTE DE CORREÇÃO	
IE_{nom}:	80
10 impactos	
80	80
80	80
80	80
80	80
80	80
Média:	1,000

Fonte: Autoria própria, (2023).

Inicialmente, foi realizada a limpeza da superfície para retirar as sujeiras que poderiam interferir nos impactos, em seguida foi confeccionado um gabarito para fazer as demarcações exigidas pela norma nos elementos onde seriam realizados os impactos. Atendendo seus 16 impactos de acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2012). Com isso, foi realizado o ensaio e anotada a dureza de cada ponto que foi aferida. As Figuras 10 e 11 mostram o gabarito e a realização do ensaio sendo realizados.

Figuras 10 e 11. Marcação do gabarito e ensaio de esclerometria.



Fonte: Autoria própria, (2023).

4.4 Ensaio de carbonatação

Para o ensaio utiliza-se a solução da fenolftaleína composta por 1 g da fenolftaleína mostrada na Figura 12, em 100 ml de álcool etílico e realiza-se a diluição desta mistura.

Figura 12. Fenolftaleína.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Em seguida, realizou-se o preparo da solução indicadora: pesar cerca de 1 g de fenolftaleína com auxílio de uma balança de precisão e dissolver em 100 mL de solução de álcool etílico (C_2H_5OH) a 95 % (v/v), posteriormente colocada em um borrifador, apresentada na Figura 13.

Figura 13. Mistura de fenolftaleína 1%.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Logo após, o concreto de cobrimento é fragmentado e depois feita a limpeza da área para borrifação da solução. A norma DIN 14630 (2007) propõe a borrifação da solução de fenolftaleína perpendicularmente à área partida, até que o concreto esteja saturado, deve ser prevenido o escoamento da solução na superfície.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Esclerometria

Foi realizada a média dos valores dos índices esclerométricos conseguidos nos ensaios dos pilares, com todos os valores obtidos, como mostra a Tabela 2. Em seguida excluídos os valores afastados em mais de 10% da média, para mais ou para menos, de acordo com a ABNT NBR 7584 (2012), como mostram as equações 2 e 3.

Tabela 2. Índice esclerométrico médio.

40	39	37	39
38	39	42	38
39	40	40	40
32	40	39	41
Média IE=	38,94		

Fonte: Autoria própria, (2023).

$$38,94 + 0,1 \times 38,94 = 42,83 \quad (2)$$

$$38,94 - 0,1 \times 38,94 = 35,05 \quad (3)$$

Em seguida foi refeita a média excluindo os valores dispersantes e assim encontrado o índice esclerométrico médio final, apresentados na Tabela 3. O índice esclerométrico médio final deve ser obtido com no mínimo cinco valores individuais válidos, caso não seja possível o ensaio deve ser desconsiderado (NEVILLE, 2016).

Tabela 3. Índice esclerométrico médio final.

40	39	37	39
38	39	42	38
39	40	40	40
X	40	39	41
Média IE=	39,40		

Fonte: Autoria própria, (2023).

Na próxima etapa encontra-se o índice esclerométrico efetivo $IE\alpha$, de cada área de ensaio, conforme a equação 4 a seguir:

$$IE\alpha = k \times IE \quad (4)$$

Onde:

$IE\alpha$ – representa o índice esclerométrico médio efetivo;

k – é o coeficiente de correção do índice esclerométrico;

IE – é o coeficiente esclerométrico médio.

Levando em consideração o esclerômetro seminovo e calibrado de fábrica não foi necessário fazer o cálculo do fator de correção, utilizando 1. Então, colocou-se na equação 4 do índice esclerométrico efetivo.

$$IE\alpha = 1 \times 39,40 = 39,40$$

De cada área de ensaio, obteve-se um único índice esclerométrico médio efetivo. A estimativa da resistência a compressão axial dos elementos foi encontrada através do ábaco fornecido pelo fabricante do esclerômetro, como mostra a Figura 14. Logo a resistência do concreto estimada do primeiro pilar analisado é 39 MPa.

Figura 14. Ábaco fornecido pelo fabricante.



Fonte: Autoria própria, (2023).

O mesmo procedimento foi realizado para os outros dois elementos de análise, primeiro calculado as médias respectivamente, como mostra a Tabela 4 e 5.

Tabela 4 e 5. Índices esclerométricos médios.

39	35	40	40
37	38	38	40
38	38	39	32
39	39	40	38
Média IE=	38,12		

39	38	38	44
39	40	41	38
38	39	39	40
39	22	40	38
Média IE=	38,25		

Fonte: Autoria própria, (2023).

Excluídos os valores afastados em mais de 10% da média, para os dois elementos, representados da equação 5 a 8 a seguir:

$$38,12 + 0,1 \times 38,12 = 41,93 \quad (5)$$

$$38,12 - 0,1 \times 38,12 = 34,31 \quad (6)$$

$$38,25 + 0,1 \times 38,25 = 42,07 \quad (7)$$

$$38,25 - 0,1 \times 38,25 = 34,42 \quad (8)$$

Tabela 6 e 7. Índices esclerométricos médios finais.

39	35	40	40
37	38	38	40
38	38	39	X
39	39	40	38
Média IE=		38,53	

39	38	38	X
39	40	41	38
38	39	39	40
39	X	40	38
Média IE=		39,00	

Fonte: Autoria própria, (2023).

O índice esclerométrico médio efetivo encontrado para os dois casos foi respectivamente 38,58 e 39,00. Com isso, tem-se que a resistência do concreto estimada é 38,6 e 39 MPa.

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2023), a resistência mínima característica F_{ck} dos concretos é de 20 MPa, portanto os três casos analisados atendem a norma.

5.2 Ensaio de carbonatação

De acordo com Neville (2016), o ensaio fundamenta-se em analisar uma superfície já rompida através do ensaio colorimétrico com solução de fenolftaleína diluída em álcool sob a proporção de 1 g de fenolftaleína para 100 ml de álcool. Foi realizada pequena fratura e logo após aplicada a solução de fenolftaleína na superfície do concreto, em seguida aguardado um tempo para que o indicador se altera a sua cor, na sequência realizou-se a leitura da camada carbonatada. As Figuras 15 e 16 mostram os ensaios realizados e os resultados obtidos.

Figuras 15 e 16. Áreas analisadas com a fenolftaleína.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Foi possível identificar que toda a superfície do concreto se mostrou incolor, o que significa o pH abaixo de 12, característico da falta de alcalinidade. Portanto, quer dizer que o CO_2 (dióxido de carbono) esteve em contato com a estrutura atingindo o interior do concreto, e assim, expondo a armadura à corrosão por carbonatação. A espessura do concreto de cobrimento carbonatado é de 1 cm, em que precisa ser retirado para a realização do reparo, como mostra a Figura 17.

Figura 17. Espessura da área afetada.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Diante da metodologia aplicada, pode-se obter dados relevantes para a pesquisa, conforme análise foram encontrados diversos locais com pontos considerados críticos pois

apresentam-se com armadura exposta, sendo carbonatados, dados obtidos ao verificar a ausência da coloração roxa, apenas uma cor clara, com isso pode-se evidenciar carbonatados superficialmente.

Ao realizar a mesma metodologia, em locais que também apresentam pontos críticos, porém não há descontinuidade da armadura e menor número de pontos com armaduras expostas, pôde-se perceber que todos os pontos se encontram carbonatados superficialmente, pois não houve alteração na coloração após a aplicação da fenolftaleína, como mostram as Figuras 18 e 19.

Figuras 18 e 19. Áreas analisadas com a fenolftaleína.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Após observados e analisados todos os problemas na edificação, sugere-se para a recuperação das áreas afetadas uma preparação da superfície, removendo todo o concreto solto ou deteriorado utilizando ferramentas adequadas, como martelos e escovas de aço. Em sequência, limpar completamente a área afetada. Logo após, realiza-se o tratamento químico, aplicando um inibidor de corrosão nas armaduras expostas para evitar danos adicionais. Existem produtos específicos disponíveis no mercado para esse fim. Em seguida, o reparo do concreto, sendo necessário preparar uma argamassa de reparo adequada, seguindo as instruções do fabricante. Aplique a argamassa nas áreas afetadas, garantindo uma aderência adequada à superfície. Por fim, a proteção e acabamento, após o reparo, é importante aplicar um revestimento protetor para prevenir futuros danos causados pela carbonatação. Existem produtos disponíveis que ajudam a reduzir a penetração de dióxido de carbono no concreto (RESENDE, 2018).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração a relevância e abrangência do tema, o presente trabalho proporcionou a análise da resistência e corrosão do concreto do prédio público. De forma geral, pode-se concluir que os valores obtidos com relação ao ensaio de esclerometria estão de acordo com o recomendado pela ABNT NBR 6118 (2023), apresentaram uma resistência mecânica (f_{ck}) adequada, porém foi comprovado a carbonatação dos elementos estruturais, causando a corrosão da armadura, sendo capaz de causar prejuízos a estrutura da edificação.

O esclerômetro se comprovou como uma ferramenta facilitadora para diagnóstico rápido e prático. Uma das principais vantagens do ensaio com esclerômetro é a sua simplicidade e facilidade de uso. Ele não requer equipamentos complexos e pode ser realizado rapidamente no local do ensaio. Além disso, é um método não destrutivo, ou seja, não danifica a estrutura do concreto.

No entanto, é importante ressaltar que o ensaio com esclerômetro fornece uma estimativa da resistência à compressão do concreto, o mesmo não substitui outros tipos de análises, de ensaios destrutivos ou não destrutivos.

O ensaio de carbonatação forneceu informações valiosas sobre a durabilidade e vida útil do concreto. Vários fatores podem ter influenciado para a carbonatação, como a umidade relativa do ar, relação água/cimento, tipo de cimento, espessura do concreto, porosidade do concreto, dentre outros.

É importante ressaltar que a carbonatação é um processo natural, mas pode ser controlado por meio de medidas preventivas, como a utilização de aditivos e a manutenção adequada das estruturas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Bruno Feltrin. **Análise da dureza superficial do concreto através da esclerometria em obras residenciais unifamiliares em Fernandópolis-SP**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 08, Vol. 01, pp. 21-35. Agosto de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/analise-da-dureza>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO-ABENDI. **Guia ABENDI 2018**: Ensaios Não Destrutivos e Inspeção, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2012). **NBR 11342:2012**: Hidrocarbonetos líquidos e resíduos de destilação - Determinação qualitativa de acidez ou de basicidade.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento - **NBR 6118**. Rio de Janeiro, ABNT, 2023.
- BASTOS, Paulo Sérgio. **Fundamentos do concreto armado**. 2019. 89 f. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019.
- CÁNOVAS, Manuel. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo, PINI. 1988.
- CARMO, Gefferson Willian Roos do. **Carbonatação em estruturas de concreto armado**: verificação de carbonatação em pilares de um muro residencial no município de monte negro – Rondônia. 2020. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Educação e Meio Ambiente – Faema, Ariquemes, 2020.
- DIN EN 14630 - **Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete, Structures - Test Methods** - Determination of Carbonation Depth in Hardened Concrete by the Phenolphthalein Method. Deutsches Institut fur Normung. Berlin, 2007.
- EQUIPE TÉCNICA SGS. **Ensaios não destrutivos. O que é preciso Saber?** Abril 2018. Disponível em: <<https://www.sgsgroup.com.br/-/media/local/brazil/documents/white->

[papers/industrial/sgs-ind-non-destructive-testing-pt-brazil.pdf](#)> Acesso em 20 de agosto de 2023.

EVANGELISTA, Jorge; CATARINA Ana. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 219p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2002.

FÉLIX, Emerson; FELICIANO, Thaís; POSSAN, Edna; DALFRE, Glaucia. **Modelagem computacional da profundidade de carbonatação do concreto empregando RNA's**. In: CONFERÊNCIA: XXXVI CONGRESSO IBÉRICO LATINO-AMERICANO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA, 2015, Rio de Janeiro. Foz do Iguaçu, 2015. v. 36, p. 1-17.

FIGUEIREDO, Enio Pazini. **Inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto com problemas de resistência, fissuras e deformações**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto. Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. Vol 2, p. 985-1015.

GALVÃO, Gabriel Moreira. **Estudo da aplicação do ensaio esclerométrico em estruturas de concreto**. 2019. 32 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Atenas, Paracatu, 2019.

GRANATO, José Eduardo. Apostila: Patologia das construções. São Paulo, 2002.

MACEDO, JV da S., Silva, JAF da, Batista, PIB, Monteiro, ECB, Júnior, JM de M., Teixeira, IA da R., Cavalcanti, LR, & Souza, MGS e. (2020). **Inspeção e Recuperação de Estrutura de Concreto em Edificação Escolar: Estudo de Caso / Inspeção e Recuperação de Estrutura de Concreto em Prédio Escolar: Estudo de Caso**. Revista Brasileira de Desenvolvimento, 6 (8), 55611–55624. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-114>.

NEVILLE, Adam. **Propriedades do concreto**. 5ª ed. Porto Alegre, Bookman, 2016.

NEVILLE, Adam. (1997). **Propriedades do concreto**. 2. ed. (S. E. Giamusso, Trad.) São Paulo: PINI.

OLIVEIRA, Damião Gomes. **Ensaos não destrutivos: Fundamentos e Aplicações**. 2019. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

PERIM, José Roberto. **Influência do metacaulim na durabilidade de concretos usuais de mercado sujeitos à carbonatação acelerada**. 2013. 176 f. Dissertação – Curso de engenharia civil, Universidade Federal de Goiás, 2013.

RAMOS, David Henrique. **Avaliações de ensaios não destrutivos aplicados ao concreto armado**. 2019. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia das Estruturas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

RESENDE, Guilherme Andrade. RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: técnicas e materiais para prolongar a vida útil. In: **6ª conferência sobre patologia e reabilitação de edifícios**, 2018, Belo Horizonte. Conferência. Rio de Janeiro: Patorreb, 2018. p. 1-10.

SARMENTO, Ítalo Bittencourt. **Análise de manifestações patológicas**: estudo de caso da estrutura da rodoferroviária de Brasília. 2019. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Brasília – Uniceub, Brasília, 2019.

SILVA, G.A.F.; BOTELHO, I.T.; DIAS, J.P.; FONSECA, L.G.; FARAGE, M.C.R.; OLIVEIRA, T.M.; BONIFACIO, A.L. **Relação entre o índice esclerométrico e a resistência à compressão de concretos**. XXXVIII INTERNATIONAL SODEBRAS CONNGRESS, Fortaleza-CE, v. 12, ed. 141, p. 127-132, setembro 2017.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini Ltda, 2009.

TELES, Jhonata. **Ensaaios não destrutivos**. 2017. Disponível em: <https://engeteles.com.br/ensaaios-nao-destrutivos/>. Acesso em: 07 jul. 2023.

TOSETTO, Renan Dittrich. **Análise de viabilidade de ampliação de uma edificação comercial utilizando ensaios destrutivos e não destrutivos**: estudo de caso. 2017. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – Fatecs, Brasília, 2017.