



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DO AVANÇO DA CORROSÃO EM POSTES DE CONCRETO  
ARMADO SUBMETIDOS A REGIÃO DE ALTA SALINIDADE**

Orientando: Letícia Ribeiro Dantas Marinho

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Aline Figueirêdo Nobrega de  
Azerêdo

Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> M.<sup>a</sup> Evilane Cássia de Farias

Campina Grande – PB

Novembro de 2020

LETÍCIA RIBEIRO DANTAS MARINHO

**AVALIAÇÃO DO AVANÇO DA CORROSÃO EM POSTES DE CONCRETO  
ARMADO SUBMETIDOS A REGIÃO DE ALTA SALINIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Unidade Acadêmica de Engenharia Civil (UAEC) da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como um dos requisitos de obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> D.ra Aline Figueirêdo Nobrega de Azerêdo  
Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> M.<sup>a</sup> Evilane Cássia de Farias

Campina Grande – PB

2020

LETÍCIA RIBEIRO DANTAS MARINHO

**AVALIAÇÃO DO AVANÇO DA CORROSÃO EM POSTES DE CONCRETO  
ARMADO SUBMETIDOS A REGIÃO DE ALTA SALINIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Unidade Acadêmica de Engenharia Civil (UAEC) da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como um dos requisitos de obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Aline Figueirêdo Nobrega de Azerêdo  
Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup>. M.<sup>a</sup>. Evilane Cássia de Farias

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Orientadora Professora: Aline Figueirêdo Nobrega de Azerêdo

---

Co-orientadora Professora: Evilane Cássia de Farias

---

Professor: Marcos Antônio De Souza Simplicio

---

Professora: Nathaly Santana Leal de Souza

Campina Grande, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2020.

## **Lista de siglas, símbolos e abreviaturas**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

CAA – Concreto Autoadensável;

CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte;

CCV – Concreto Convencional;

COSERN – Companhia Energética do Rio Grande do Norte;

IPT – Instituto de Pesquisa e Tecnologia de São Paulo;

NBR – Norma Brasileira;

NE – Norme Européenne.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- esquema do vapor d`água impossibilitado de sair devido ao revestimento.....	6
Figura 2- Curvas de carbonatação em variação do tempo de acordo com os materiais... 7	7
Figura 3-Execução do ensaio não destrutivo de esclerômetria.....	10
Figura 4-Realização de um ensaio de resistividade elétrica. ....	10
Figura 5-Potencial de corrosão sendo feito em campo.....	11
Figura 6-Fluxograma do trabalho. ....	12
Figura 7-Caminhão munck realizando a instalação dos postes. ....	16
Figura 8-Vista lateral dos postes com instalação concluída. ....	16
Figura 9-Resipod durante a realização de um dos ensaios de resistividade elétrica. ....	19
Figura 10-Funcionamento do medidor de potencial de corrosão Canin + .....	20
Figura 11-Mapeamento para esclerometria no poste 01.....	22
Figura 12-Mapeamento para esclerometria no poste 02.....	23
Figura 13-Mapeamento para esclerometria no poste 03.....	24
Figura 14-Mapeamento para esclerometria no poste 04.....	25
Figura 15-Gráfico dos resultados dos ensaios de resistividade elétrica em cada poste..	26
Figura 16-Gráfico das médias e desvio padrão do potencial de corrosão dos postes 01 e 03. ....	29
Figura 17-Índices esclerométricos médios e seus respectivos desvios padrões em cada poste.....	31

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Capital gasto com problemas de corrosão em cada país.	8
Tabela 2-Identificação e caracterização dos postes.	15
Tabela 3-Dosagem dos materiais utilizados no projeto.	17
Tabela 4-Valores da resistência à compressão axial dos corpos de prova nas respectivas idades.	17
Tabela 5-Relação entre a resistividade elétrica e o risco de corrosão	18
Tabela 6-Tensão de ruptura em relação ao índice esclerométrico.	25

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1- Características dos respectivos ensaios não destrutivos.....	9
------------------------------------------------------------------------	---

## RESUMO

As manifestações patológicas causadas no concreto armado e induzidas pela alta concentração de cloreto é um dos principais problemas das estruturas localizadas em ambientes próximos ao mar. A penetração do cloreto no concreto é muito complexa e depende de parâmetros diretamente ligados as propriedades dos materiais que o compõem. Nesse sentido, com a finalidade de avaliar a influência da presença de cloretos no avanço das manifestações patológicas correlatas em estruturas de concreto armado, este trabalho utilizou como objeto de estudo postes de concreto armado localizados na Via Costeira da capital do Rio Grande do Norte, com o objetivo de acompanhar a evolução e o surgimento de manifestações patológicas, a partir de ensaios não destrutivos. O local escolhido foi de extrema importância pois o ambiente marítimo de Natal é conhecido pela forte presença de íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), o que se faz responsável por acelerar a degradação dos materiais. Isso posto, foram designados ensaios não destrutivos para manter a integridade dos corpos de prova instalados e mesmo assim, identificar a qualidade e as características de cada um, sendo eles fabricados com concreto convencional, autoadensável e pintura de proteção. A partir dos experimentos de resistividade elétrica, potencial de corrosão e esclerometria foi possível obter resultados favoráveis a associação do concreto autoadensável e adicional de pintura nas estruturas sujeitas a uma área tão agressiva.

**Palavras-chave:** Concreto convencional, concreto autoadensável, pintura de proteção, corrosão, cloreto, ensaios não destrutivos.

## ABSTRACT

The pathological manifestations caused in reinforced concrete and induced by the high concentration of chloride is one of the main problems of structures located in environments close to the sea. The penetration of chloride into concrete is very complex and depends on parameters directly linked to the properties of the materials that compose it. In this sense, with the purpose of evaluating the influence of the presence of chlorides in the advancement of the related pathological manifestations in reinforced concrete structures, this work used reinforced concrete poles located on the Via Costeira of the capital of Rio Grande do Norte as an object of study. The objective of monitoring the evolution and the appearance of pathological manifestations, based on non-destructive tests. The location chosen was extremely important because the maritime environment of Natal is known for the strong presence of chloride ions ( $\text{Cl}^-$ ), which is responsible for accelerating the degradation of materials. That said, non-destructive tests were designed to maintain the integrity of the installed specimens and even so, to identify the quality and characteristics of each one, being made with conventional, self-compacting concrete and protective paint. From the experiments of electrical resistivity, corrosion potential and sclerometry it was possible to obtain favorable results to the association of self-compacting concrete and additional paint in structures subject to such an invasive area.

**Keywords:** Conventional concrete, self-compacting concrete, protective paint, corrosion, chloride, non-destructive testing.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	2
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	3
2.1. OBJETIVO GERAL .....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	4
3.1. CONCRETO CONVENCIONAL X CONCRETO AUTOADENSÁVEL .....	4
3.2. PINTURA DE PROTEÇÃO PARA CONCRETO .....	5
3.3. CORROSÃO POR CLORETO .....	7
3.4. MÉTODOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS .....	8
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	11
4.1. MATERIAIS UTILIZADOS .....	12
4.1.1. Cimento .....	13
4.1.2. Aço .....	13
4.1.3. Areia .....	13
4.1.4. Brita .....	13
4.1.5. Aditivos Químicos .....	14
4.1.6. Água .....	14
4.1.7. Pintura .....	14
4.1.8. Reagente Utilizados nos Ensaios .....	15
4.1.9. Corpos de Prova: Postes de Distribuição de Energia .....	15
4.1.10. Adições .....	17
4.2. ENSAIOS DE MONITORAMENTO DA DURABILIDADE DOS CONCRETOS .....	17
4.2.1. Resistividade Elétrica .....	18
4.2.2. Potencial de Corrosão .....	19
4.2.3. Esclerometria .....	21
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	26
5.1. ANÁLISE DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA .....	26
5.2. ANÁLISE DO POTENCIAL DE CORROSÃO .....	28
5.3. ANÁLISE DA ESCLEROMETRIA .....	30
<b>CONCLUSÃO</b> .....	33
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35

## INTRODUÇÃO

As manifestações patológicas existentes em estruturas de concreto armado são problemas frequentes no ramo da construção civil. Principalmente, em ambientes marinhos, como Via Costeira do nordeste brasileiro, que apresentam altas concentrações de cloreto na atmosfera. Dessa forma, a presença dos íons cloreto é a principal causa de corrosão das armaduras sujeitas a esse tipo de agressividade.

Os cloretos não compõem somente a água do mar, contudo toda a atmosfera marinha. Dessa maneira, qualquer estrutura que esteja presente no ambiente, mesmo sem o contato físico com o oceano, estão fortemente propensas à corrosão do aço presente nas estruturas de concreto armado, segundo Balestra et al. (2020). Essa exposição será responsável por uma interação química com os materiais cimentícios, conforme os estudos de Yi et al. (2020), e tal ação deteriorará também o concreto.

Portanto, se faz necessário um cuidado especial com estruturas que são submetidas a esses ambientes, a fim de obter melhorias de custo benefício. Como é relatado por Cerqueira et al. (2012) o gasto total com problemas vinculados à deterioração de materiais chega a 5% do PIB (Produto Interno Bruto), sendo destes, em torno de 20% a 25% dos custos seriam evitados se usassem tecnologias de controle adequadas. No Brasil, estima-se que na década de 2000 houve um gasto de aproximadamente US \$ 15 bilhões por ano, relacionado às despesas com os processos corrosivos, e cerca de US \$ 5 bilhões poderiam ser economizados com tentativas de prevenção e controle, ainda conforme Cerqueira et al. (2012).

Além disso, torna-se ainda mais importante dar atenção aos “componentes de concreto utilizados para distribuição de energia elétrica e sistemas de iluminação pública, como postes e cruzetas, devido ao risco de ferimentos ou até morte de pedestres por quebra de estruturas deterioradas” (JOUKOSKI et al., 2004).

O litoral do Nordeste do Brasil, na qual apresenta altas taxas de salinidade e combinado a um clima de alta temperatura média anual e alta umidade relativa no período noturno, problemas de degradação das estruturas são freqüentemente encontrados, ainda conforme os estudos de Joukoski et al.(2004). Então, a corrosão em armadura dos postes, bem como os métodos para sua detecção e formas de prevenção é alvo de muitos estudos ao redor do mundo.

Dessa maneira, foi incentivo de estudo a alta e rápida degradação das estruturas de iluminação pública na Via Costeira, com vida útil atual menor e a exigida pela COSERN (Companhia Energética do Rio Grande do Norte), é de pelo menos 35 anos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o progresso das manifestações patológicas de corrosão em postes de concreto armado em um ambiente marinho afim de certificar qual combinação de materiais apresenta melhor desempenho.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a resistividade elétrica do material utilizado nas estruturas do projeto;
- Avaliar o potencial de corrosão das armaduras inseridas nos corpos de prova;
- Relacionar os dados dos ensaios não destrutivos com a durabilidade das estruturas e o possível surgimento de manifestações patológicas;
- Verificar em qual tipo de concreto o mecanismo de deterioração ( $\text{Cl}^-$ ) gera menos danos aos postes;
- Verificar a potencialidade das tintas de proteção anticorrosivas para estruturas de concreto armado.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. CONCRETO CONVENCIONAL X CONCRETO AUTOADENSÁVEL

O concreto convencional consiste na sua formação pelos seguintes materiais: água, cimento, agregado bruto e fino.

Embora o concreto seja o material estrutural mais amplamente usado, sua microestrutura é heterogênea e altamente complexa. As relações microestrutura-propriedade do concreto não estão ainda completamente desenvolvidas; no entanto, certo conhecimento sobre os elementos essenciais da microestrutura é necessário antes de discutir os fatores de influência nas propriedades importantes para a engenharia do concreto, tais como: resistência, elasticidade, retração, fluência, fissuração e durabilidade. (METHA; MONTEIRO, 2008).

E essa estrutura complexa de materiais traz grande importâncias de utilização, por isso, de acordo com Pamplona (1999), o concreto tradicional deve ser o material com mais rigidez de controle no canteiro de obras, para que alcance as expectativas do cálculo do projeto estrutural. Assim, se faz necessário: escolha do cimento adequado a situação; agregado de qualidade; água limpa e bom preparo da mistura.

Dessa maneira, seguindo essas indicações, será possível adquirir a durabilidade do material com boa capacidade de resistência aos intempéries, ações de ataques químicos ou deteriorações em geral. Isso significa que o concreto poderá conservar sua forma original, qualidade e capacidade de ser exposto ao ambiente que foi projetado, como analisado e exposto por Vieira et al. (2010).

Por sua vez, o concreto autoadensável é basicamente composto por cimento, água, agregado graúdo e miúdo, e um adicional de aditivos superplastificantes. Essa combinação foi criada na intenção de atender requisitos até então não atendidos pelo concreto convencional, eles são: sua capacidade de autopreenchimento, facilidade de passagem e da resistência à segregação dos materiais, conforme Sonebi e Yahia (2019).

O concreto autoadensável (CAA) tem muitos benefícios em termos de produção e colocação em relação ao concreto tradicional, nomeadamente, eliminação de vibrações externas ou internas para compactação, melhor fluidez, trabalhabilidade e bombeabilidade, bem como aumento da aderência com armadura congestionada. Além disso, a colocação do CAA é mais rápida e exige menos mão de obra. (...) No entanto, os métodos de produção, colocação, controle de qualidade e acabamento são essenciais para o CAA. (...) O concreto autoadensável é menos tolerante a mudanças abruptas no teor de umidade agregado, aditivos químicos e teor de água. O tipo de misturador de concreto, o tempo de transporte e os métodos

de colocação e acabamento do concreto podem afetar as propriedades do CAA. (KASHANI E NGO, 2019)

Além dessas características, Aggarwal e Aggarwal (2019) expõem que a carbonatação do concreto autoadensável apresenta-se distinto ao concreto convencional, principalmente observado nas reações de cada material. A corrosão no CAA pode ser causado por muitos fatores, contudo, o mais comum é a presença de cloreto e sulfato. Porém, a conduta do concreto muda de acordo com os materiais cimentícios adicionados complementarmente.

Também se faz importante ressaltar que

“o concreto convencional deve ser compactado de maneira adequada para atingir sua resistência. Em alguns casos, o concreto não pode atingir sua resistência total quando o processo de compactação se torna difícil. Para evitar esse cenário, a categoria de concreto autoadensável (CAA) foi popularizada.” (SURYA et al., 2020).

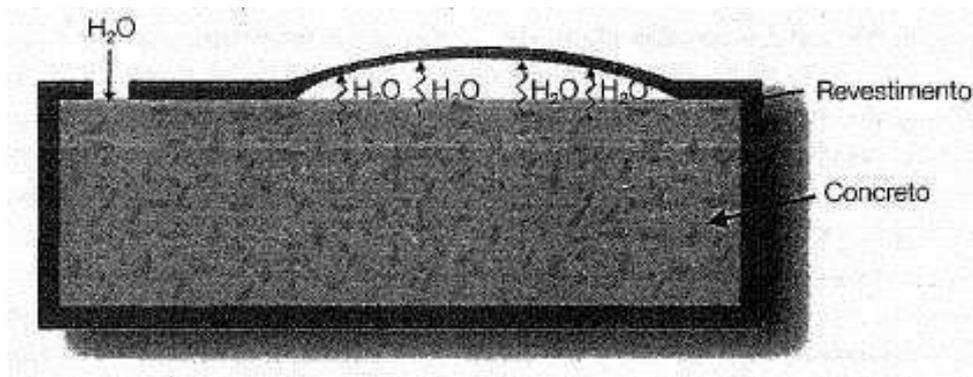
### 3.2. PINTURA DE PROTEÇÃO PARA CONCRETO

Estruturas de concreto armado podem ser danificadas pela corrosão das armaduras, e é uma das manifestações patológicas mais presentes atualmente. De acordo com Browne e Robery (1987), uma ótima solução de reparo é revestir a superfície do concreto, com a finalidade de diminuir ou cessar a exposição a cloretos.

O uso da pintura é escolhido para realizar a proteção do concreto da deterioração atmosférica agressiva, e tal barreira contra ions cloreto são necessárias para evitar o ataque de corrosão nas armaduras de aço. Assim, conforme as observações de Lindberg (1987), as propriedades da pintura, que é feita para tratamento das superfícies contra agentes deletérios, são de extrema importância.

“A penetração da umidade na estrutura de concreto armado ocorre quando a estrutura não foi totalmente revestida ou quando ocorrerem danos ao revestimento que resultem na ocorrência de falhas. Portanto, quando a estrutura de concreto for sujeita a essas situações, que ocorrem com frequência, o revestimento deve inibir significativamente a entrada de água na estrutura, mas, por outro lado, deve permitir a saída do vapor de água a partir do concreto.” (RIBEIRO, 2014)

Figura 1- esquema do vapor d'água impossibilitado de sair devido ao revestimento

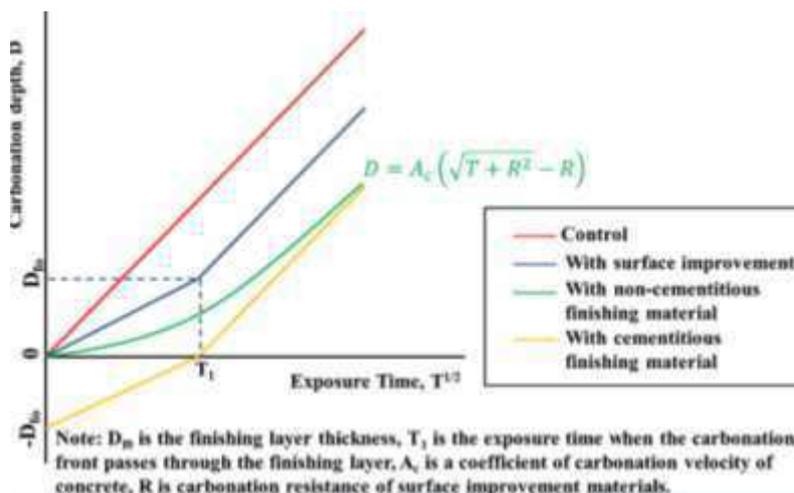


Fonte: RIBEIRO, 2014

A dificuldade da entrada de umidade, como citado acima, é um dos maiores facilitadores do aumento da durabilidade do material. Dessa maneira, segundo os estudos realizados com 28 dias por Lo et al. (2016), o revestimento de tinta feito no concreto pode chegar a reduzir até 46% a profundidade de carbonatação. Com isso, a estrutura apresenta um tempo de bloqueio efetivo, devido ao conjunto do concreto e da pintura, resistindo a evolução da carbonatação naquele meio.

Levando isso em conta, se faz importante observar que de acordo com Bara e Senbu (1987, apud LO et al., 2016, p. 02) os revestimentos de concreto podem ser classificados em três segmentos: de acabamento não cimentício (exemplo: tintas orgânicas); acabamento cimentício (exemplo: reboco de argamassa); e penetrantes de barreira. E pode-se observar as curvas de profundidade de carbonatação de cada um desses grupos na Figura 02.

Figura 2- Curvas de carbonatação em variação do tempo de acordo com os materiais.



Fonte: LO et al., 2016.

### 3.3. CORROSÃO POR CLORETO

A corrosão de estruturas de concreto armado tem maior ocorrência devido a presença do cloreto no ambiente, como já foi citado anteriormente. Esse fato gera inúmeros problemas, dentre eles: queda da rigidez, resistência e ductilidade. Segundo Du et al. (2020) essa situação se torna ainda mais grave em casos que há presença de trincas, porque ocasiona caminhos mais fáceis à entrada dos íons.

O ingresso de cloretos em estruturas de concreto armado é ainda muito complexo, pois depende de parâmetros aleatórios ligados ao transporte e às propriedades químicas dos materiais, o que resulta na variabilidade do início da corrosão. Esta variação aumenta a necessidade de abordagens estatísticas para avaliar o risco de início de corrosão devido à entrada de cloreto. (KIESSE et al., 2020).

Pelas observações de Tuutti (1982), o processo de corrosão pode ser descrito pelo indicativo de entrada do cloreto na estrutura de concreto e disseminação da corrosão. A etapa inicial se dá pelo contato entre o cloreto e o material construtivo, até que a concentração no ambiente tende a aumentar e é finalizado com a concentração de cloreto chegando a armadura, ultrapassando o limite admitido e reduzindo a área de aço. Assim, é possível definir a vida útil como sendo o período de entrada do cloreto na camada de concreto até que a sua concentração exceda um valor limite na posição da barra de aço.

Nesse momento em que as manutenções são prioridades extremas, de acordo com a EN (2004). Portanto, se faz necessário a remoção completa do concreto afetado pelo

cloreto e substituição por um novo material, prolongando a vida útil da estrutura e garantir custos mínimos. Como foi mencionado por Kiesse et al., (2020), é importante considerar as intempéries presentes no ambiente da estrutura, pois, prever esses parâmetros garante uma melhor avaliação dos níveis de risco potencial, possibilitando projetar uma vida útil mais longa ao concreto exposto ao cloreto.

Na Tabela 1, pode-se analisar os gastos de diversos países com os problemas gerados pela corrosão em estruturas.

Tabela 1 - Capital gasto com problemas de corrosão em cada país.

<b>País</b>	<b>PIB (US\$ bilhões)</b>	<b>Gastos com corrosão (US\$ bilhões)</b>
<b>Estados Unidos</b>	9896,40	346,37
<b>Japão</b>	4749,60	166,23
<b>Alemanha</b>	1873,00	65,55
<b>China</b>	1100,00	38,50
<b>Brasil</b>	594,20	20,79
<b>México</b>	574,50	20,10
<b>Índia</b>	479,40	16,77
<b>Coreia do Sul</b>	457,00	16,00
<b>Argentina</b>	285,50	9,99
<b>Tailândia</b>	121,60	4,26

Fonte: adaptado de GENTIL, 2011.

### 3.4. MÉTODOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Os ensaios não destrutivos tem a importante característica de não modificar permanentemente a estrutura que está sendo analisada. Esse fator permite conservar as propriedades físicas e mecânicas do material em estudo, tornando os danos quase nulos ou nulos.

Conforme as observações realizadas, nos últimos 40 anos, por Malhotra (1984), é necessário garantir a qualidade do concreto nos ensaios não destrutivos. Os ensaios podem ser classificados a partir do objetivo dos resultados, como:

- Objetivo de estipular a elasticidade, durabilidade e resistência do concreto, dentre outras propriedades;
- Propósito de detectar presença de fissuras, falhas no concreto, presença de umidade, localização e espessura das armaduras de aço.

A partir desses ensaios, se torna possível o encontro das informações necessárias para diagnosticar uma construção com patologias e, assim, escolher os tratamentos viáveis para a manutenção/repapeação dessas estruturas, afim de garantir serugança dos usuários.

Dentre os ensaios não destrutivos, alguns se destacam, eles são: ultrassonografia, GPR (ground penetration radar), esclerômetria, avaliação da carbonatação, resistividade elétrica e potencial de corrosão. As caracterísiticas de alguns desses ensaios estão apresentadas no quadro 1, conforme Ramos (2019):

Quadro 1- Características dos respectivos ensaios não destrutivos.

<b>Ensaio Não Destrutivo</b>	<b>Características</b>
<b>Esclerômetria</b>	-Avalia a reação de uma estrutura submetida ao impacto de um corpo conhecido; -Verifica a dureza superficial e a energia absorvida pela estrutura; -Norma internacional: EN 12504-2; -Norma brasileira: NBR 7584.
<b>Resistividade Elétrica</b>	-Avalia a resistividade elétrica, logo, a dificuldade de corrosão daquele material; -É medida pela oposição da estrutura ao fluxo de corrente elétrica que é submetido; -Norma internacional: ASTM C 114; -Norma brasileira: NBR 9917.
<b>Potencial de Corrosão</b>	-Avalia a possibilidade de ocorrência de corrosão; -Verifica a despassivação das armaduras; -Norma brasileira: NBR 6118.

Fonte: adaptado de RAMOS, 2019.

Para melhor visualização da metodologia utilizada nos ensaios, as Figuras 3, 4 e 5 ilustram os respectivos ensaios de: esclerômetria, resistividade elétrica e potencial de corrosão.

Figura 3-Execução do ensaio não destrutivo de esclerômetria.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 4-Realização de um ensaio de resistividade elétrica.



Fonte: FARIAS, 2019.

Figura 5-Potencial de corrosão sendo feito em campo.



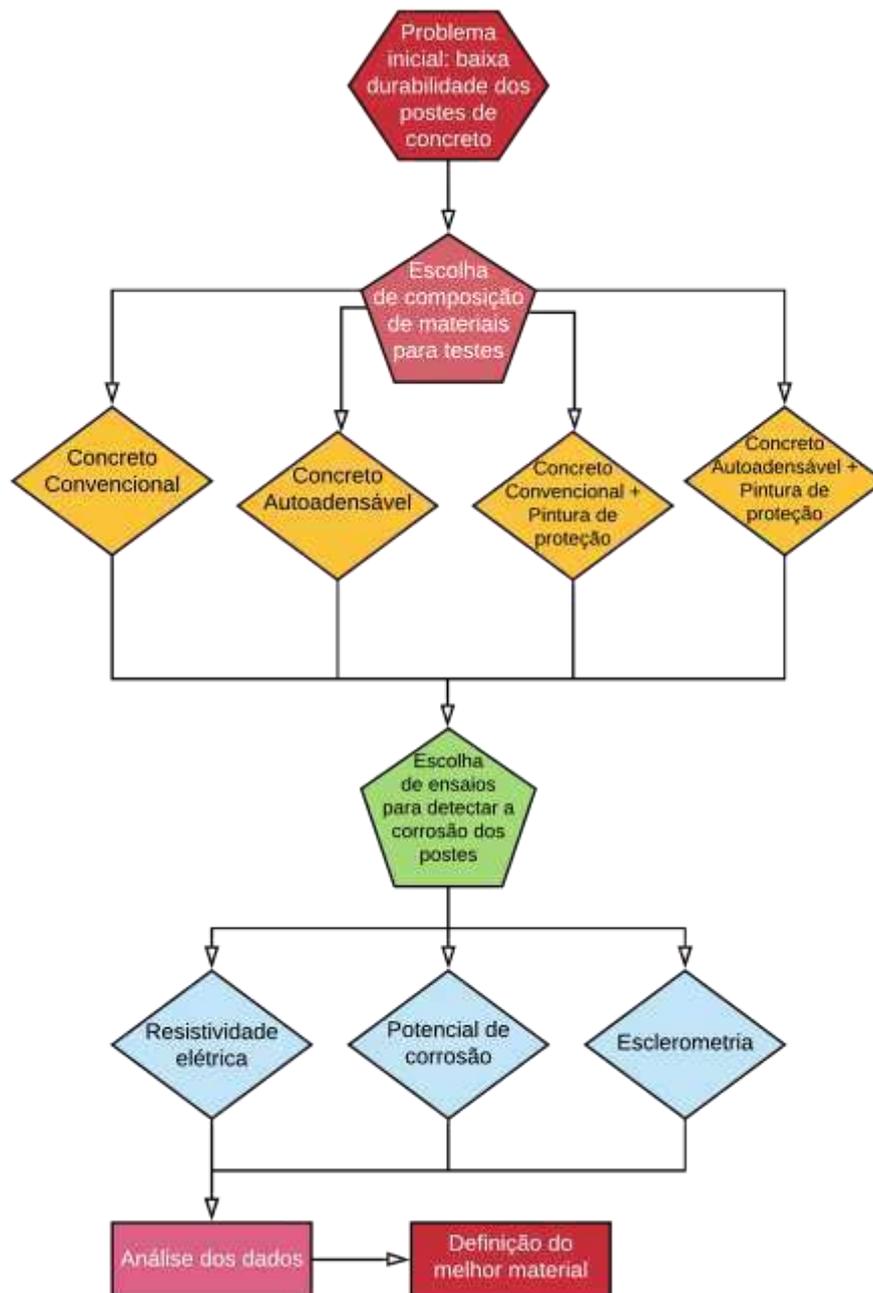
Fonte: Dados da pesquisa.

Diante da revisão e dos conceitos apresentados, verificou-se a importância do aprofundamento da investigação do comportamento de durabilidade das estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marítimo. Portanto, foi elaborada uma metodologia, apresentada no tópico a seguir (item 4), a fim de estudar a problemática da vida útil dos postes presentes na Via Costeira de Natal/RN.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente trabalho foi desenvolvido conforme o fluxograma presente na figura 6 abaixo.

Figura 6-Fluxograma do trabalho.



Fonte: Autor (2020).

#### 4.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Abaixo serão expostos os materiais que foram usados para a confecção dos corpos de prova de concreto armado e reagentes utilizados nos ensaios.

#### 4.1.1. Cimento

O cimento é composto basicamente por clínquer, que é um material formado da mistura da argila, calcário e outros elementos químicos que variam de acordo com a utilização do cimento. Esses adicionais são responsáveis por modificar as propriedades de trabalhabilidade, impermeabilidade, durabilidade e resistência do material.

O tipo de cimento usado nos experimentos foi cimento Portland de alta resistência inicial, CP V ARI, por se tratar de estruturas pré-moldadas.

#### 4.1.2. Aço

O aço é produzido por uma liga metálica de carbono e ferro com variação de até 2% de carbono na composição (componente que aumenta o teor de ductilidade do material). Existem variações também na fabricação dos aços que podem sofrer deformações ou não a frio e confecção de diferentes tamanhos de acordo com as bitolas disponíveis no mercado.

O tipo de aço usado nos experimentos foi o CA-50.

#### 4.1.3. Areia

A areia é um material necessário na composição de concretos e argamassas na construção civil. Sua presença contribui evitando a perda de umidade e o aparecimento de trincas na estrutura. No comércio, a areia é subdividida de acordo com as segmentações de granulometria, ou seja, de acordo com o tamanho dos grãos (finos, médios ou grossos). Nesse estudo, foram utilizadas areias de mesma composição mineralógica, extraídas da mesma jazida, porém com diâmetros característicos diferentes. Para o CAA foi utilizada uma areia de 2,36mm de diâmetro característico e para o CCV foi utilizado uma areia de 4,8mm de diâmetro característico. Essa necessidade de utilizar uma areia mais fina no CAA se deu devido o concreto autoadensável possuir maior facilidade à segregação.

#### 4.1.4. Brita

Por ser a maior fonte de agregado natural, a brita é um material granular composto por fragmentos de rochas que passam por um processo de trituração, lavagem e separação. A brita utilizada para a preparação dos experimentos foi uma brita granítica com diferentes diâmetros nominais, para o concreto autoadensável, uma brita de 12,5 mm e para o concreto convencional 19,0mm.

#### 4.1.5. Aditivos Químicos

A aplicação de aditivos químicos em estruturas de concreto armado é uma das formas mais eficazes para melhorar as características operacionais do material, e ao mesmo tempo mantendo um ótimo custo benefício, segundo Kuzmin *et al.* (2019).

Para reduzir quantidade de água no concreto sem prejudicar a trabalhabilidade do mesmo utilizou-se aditivos químicos plastificantes e superplastificantes. Nos dois tipos de concretos analisados foi utilizado o plastificante PF-171 (SIKA) à base de sais sulfonados e carboidratos em meio aquoso. Para o concreto autoadensável foi acrescentado o superplastificante Viscocrete 5800 (SIKA) à base de éter policarboxílico.

E para o experimento em específico, foi utilizado o aditivo Hagen CS800, de acordo com a sua ficha técnica, “é um líquido impregnante adequado para tratamento de estruturas de concreto, que penetra através da sua superfície, chegando até a armadura, inibindo a corrosão” (BRASIL, 2011).

#### 4.1.6. Água

Para a confecção dos postes foi utilizada a água fornecida pela concessionária local de abastecimento de água – CAERN, durante a confecção do concreto no IFRN – Instituto Federal do Rio Grande do Norte no município de São José de Mipibu.

#### 4.1.7. Pintura

Na pintura foi usado um material impermeabilizante que deve apresentar a capacidade de aumentar a proteção do concreto contra as intempéries, contribuindo para a conservação da estrutura e diminuição dos desgastes. Em locais sem pintura impermeabilizante é comum ver o aumento rápido da umidade na estrutura o que acelera a corrosão do aço, principalmente em ambientes salinos.

A tinta usada nos experimentos foi a Master Seal 515 Pa e Pb, que é formado por resinas sintéticas, cimento Portland, areia selecionada e aditivos especiais (BASF, 2014) e foi fabricado para proporcionar que o revestimento impermeável tenha uma primorosa aderência e ótima resistência física.

Além disso, a pintura escolhida para o projeto contém diversos benefícios após a aplicação e aderência do material, dentre eles: melhoria da trabalhabilidade, rapidez na preparação, surpreende resistência mecânica e impermeabilidade, aderência excelente e ótima adequação na aplicação (chapisco, argamassa, revestimento, pintura, etc).

Também se faz importante lembrar da pintura protetora para armadura. No caso do projeto, foi escolhida a Emaco P22 que é “bicomponente, formulado com polímeros, cimento Portland e inibidores de corrosão, sendo isento de solventes. É um composto tixotrópico de fácil aplicação e alta proteção anticorrosiva e tem excelente aderência ao aço” (BASF, 2019).

Esse revestimento apresenta qualidades especiais de fácil aplicação, proteção contra corrosão por passivação e formação de barreira impermeável, resistência a CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e sais, alta durabilidade e longo tempo de trabalhabilidade. Sendo assim, apresenta-se como uma alta proteção anticorrosiva ideal para a situação do presente estudo.

#### 4.1.8. Reagente Utilizados nos Ensaio

Para os ensaios realizados nesse estudo apenas foi utilizado uma solução saturada de sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>) para a realização do ensaio de potencial de corrosão.

#### 4.1.9. Corpos de Prova: Postes de Distribuição de Energia

Os corpos de prova escolhidos para o presente trabalho foram confeccionados pela fábrica de pré-moldados PINCOL na cidade de São José do Mipibu no interior do Estado do Rio Grande do Norte. Foram 04 (quatro) unidades de postes de distribuição de rede elétrica.

Os postes foram nomeados e caracterizados de acordo com as Tabelas 2 a seguir:

Tabela 2-Identificação e caracterização dos postes.

<b>Numeração dos postes</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Características do Concreto</b>	<b>Observações gerais</b>
POSTE 1	CCV	Concreto de 40Mpa, elaborado pelo IFRN, com uso de Hagen CS800	
POSTE 2	CAA	CAA – Desenvolvido pelo IFRN, em São José do Mipibu	
POSTE 3	CCV-P	Concreto de 40Mpa, elaborado pelo IFRN, com uso de Hagen CS800	Com proteção de uma demão do Master Seal 515 PA e PB e aplicação do EMACO P22 na armadura
POSTE 4	CAA-P	CAA – Desenvolvido pelo IFRN, em SJM	Com proteção de uma demão do Master Seal 515 PA e PB

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Após a confecção dos corpos de prova, a PINCOL na sua unidade de São José do Mipibu/RN destinou os 04 (quatro) postes do seu ponto fabril para implantação no local de estudo na Via Costeira da cidade de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte.

A instalação se iniciou as 07 horas da manhã da quinta-feira com a saída do caminhão Munck da empresa, sendo conduzida pelo motorista e dois colaboradores que realizaram a implantação dos postes de rede elétrica. Com isso, foram abertas as valas e introduzidos os corpos de prova no local, concluindo a instalação por volta das 12 horas com êxito total conforme as figuras 7 e 8.

Figura 7-Caminhão munck realizando a instalação dos postes.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 8-Vista lateral dos postes com instalação concluída.



Fonte: Dados da pesquisa.

#### 4.1.10. Adições

Aditivos são materiais adicionados a estrutura com a finalidade de modificar suas propriedades naturais, oferecendo facilidades referentes a algum aspecto desejado. As adições feitas nos corpos de prova do projeto foram metacaulim e filer calcário, que estão listados e dosados na Tabela 3 e 4 a diante:

Tabela 3-Dosagem dos materiais utilizados no projeto.

<b>Materiais</b>	<b>CAA</b>	<b>CCV</b>
Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	340	470
Metacaulim (kg/m <sup>3</sup> )	20	-
Fíler Calcário (kg/m <sup>3</sup> )	80	-
Agregado Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	825	659
Agregado Graúdo 12,5mm (kg/m <sup>3</sup> )	761	-
Agregado Graúdo 19,0mm (kg/m <sup>3</sup> )	-	1002
Água (kg/m <sup>3</sup> )	238	198
Plastificante (kg/m <sup>3</sup> )	2	0,620
Superplastificante (kg/m <sup>3</sup> )	5	-
Ligantes (CIM+Mtk+Fíler) (kg/m <sup>3</sup> )	440	470
Teor de argamassa do traço	62%	53%

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Tabela 4-Valores da resistência à compressão axial dos corpos de prova nas respectivas idades.

<b>Resistência à compressão axial em diferentes idades (MPa)</b>	<b>CAA</b>	<b>CCV</b>
1 dia	14,21	20,8
7 dias	23,92	41,8
28 dias	39,31	51,9

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

## 4.2. ENSAIOS DE MONITORAMENTO DA DURABILIDADE DOS CONCRETOS

Antes da realização dos ensaios de resistividade elétrica e potencial de corrosão, os postes foram umedecidos para melhorar a precisão e significância dos ensaios. Foi feito

o lançamento de água sobre a estrutura de cada corpo de prova, tendo o cuidado de reforçar esse lançamento de água durante o período de ensaios.

#### 4.2.1. Resistividade Elétrica

Foi realizado o ensaio de resistividade elétrica nos 4 (quatro) postes da pesquisa de acordo com a American Society for Testing and Materials G57 (2012), com o objetivo de estabelecer o método para a determinação da resistividade elétrica-volumétrica do concreto endurecido, através de corpos de prova ou testemunhos extraídos. Além disso, utilizou-se como critérios de referência os valores disponíveis na Tabela 5 citados na Norma Européia COST 509 (1997).

Tabela 5-Relação entre a resistividade elétrica e o risco de corrosão

<b>Resistividade elétrica (kΩ.cm)</b>	<b>Risco de corrosão</b>
< 10	Alto
10 – 50	Moderado
50 – 100	Baixo
> 100	Desprezível

Fonte: Adaptado de COST 509 (1997).

O ensaio foi feito com o auxílio do equipamento Resipod da marca Proceq no modelo com espaçamento de 50mm entre as sondas. Como pode ser observado na Figura 9, que mostra a utilização do mesmo durante o um dos ensaios.

Figura 9-Resipod durante a realização de um dos ensaios de resistividade elétrica.



Fonte: Autor.

O Resipod é uma sonda Wenner de 4 pontos projetada para medir a resistividade elétrica do concreto em um ensaio totalmente não destrutivo. É o instrumento de maior acurácia disponível, extremamente rápido e estável, além de ter uma carcaça robusta e à prova d'água, projetada para operar em ambiente local exigente (PROCEQ, 2017).

#### 4.2.2. Potencial de Corrosão

Para a realização desse ensaio, foi escolhido o intervalo com ciclos de 120 (cento e vinte) e 240 (duzentos e quarenta) dias. Para sua realização dele é de extrema importância que seja não destrutivo e logo, conserva-se os corpos de prova para o próximo ciclo.

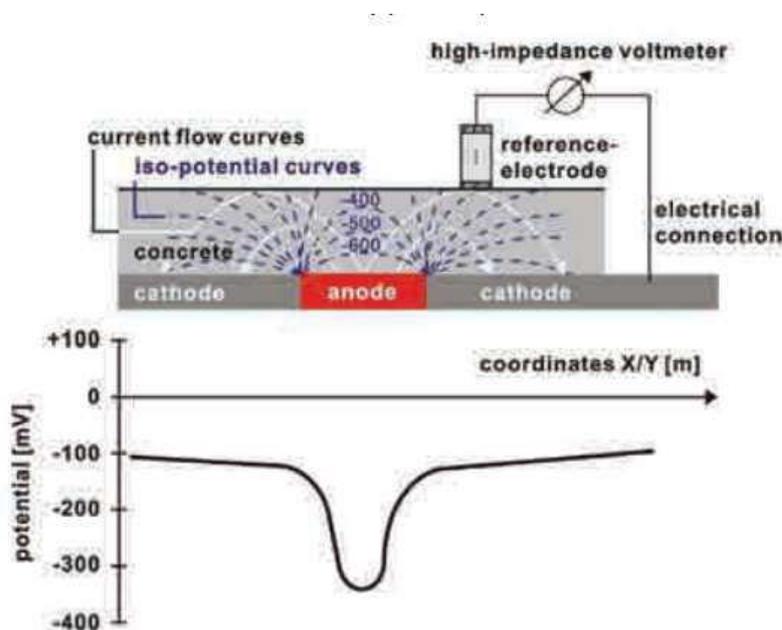
Na preparação do ensaio, foi retirada a camada protetora do aço para que houvesse contato direto entre o equipamento e, então, realizou-se a primeira leitura sempre no mesmo ponto em cada poste. Para obter os resultados das leituras foi mantido uma distâncias de 0 à 1,8 metros, de onde era o contato direto com o aço, variando a cada 0,2 metros.

O equipamento escolhido para medir o potencial de corrosão foi o Canin + da marca Proceq que é um voltímetro (mede a diferença de potencial).

A ideia básica da medição do campo potencial é medir os potenciais na superfície do concreto, a fim de obter uma imagem característica do estado de corrosão da superfície do aço dentro do concreto. Para este propósito, um eletrodo de referência é conectado por meio de um voltímetro de alta impedância (em no caso do sistema Canin +  $R = 10 \text{ M}\Omega$ ) para a armadura de aço e é movido em uma grade sobre a superfície de concreto. O eletrodo de referência do sistema Canin + é uma meia-célula Cu / CuSO<sub>4</sub>. Consiste em uma barra de cobre imerso em uma solução saturada de sulfato de cobre, que mantém um potencial constante e conhecido. (PROCEQ, 2009, p. 06.)

Esse funcionamento pode ser ilustrado na Figura 10, que demonstra bem a teoria da performace do equipamento utilizado nos experimentos.

Figura 10-Funcionamento do medidor de potencial de corrosão Canin +



Fonte: (PROCEQ, 2009)

#### 4.2.3. Esclerometria

O ensaio de esclerometria foi escolhido por se tratar de uma técnica para avaliar a uniformidade do concreto, acompanhar o avanço da resistência e medir um valor dessa resistência através de procedimentos simplificados e com rapidez. Dessa maneira, a esclerometria se coloca como uma das melhores formas de estimar a resistência superficial do concreto.

Além disso, o ensaio é realizado pelo equipamento chamado de esclerômetro de reflexão que é prescrito pela ABNT NBR 7584 (2012) no Brasil e pela ASTM C 805 (2008) nos Estados Unidos. Essa ferramenta é basicamente um martelo acompanhado de uma mola que desliza por um pistão.

Durante a realização do ensaio de esclerometria, o operador do ensaio deve exercer uma força sobre o pistão do equipamento contra a estrutura. O martelo se chocará no embolo na direção contrária a superfície de concreto e o peso controlado pela mola recua, indicando o valor da reflexão do martelo.

O ensaio foi efetuado para avaliação dos postes de concreto armado, seguindo as orientações e diretrizes da NBR 7584 (2012), como: limpeza superficial da estrutura, ensaiar em superfícies planas, secas ao ar, evitando regiões úmidas. O equipamento utilizado no ensaio foi um esclerômetro analógico conhecido como martelo de Schmidt da marca PROCEQ digital à 90°, além de uma esmerilhadeira com disco diamantado da marca Vonder, com objetivo de efetuar a devida limpeza e regularização superficial do elemento estrutural. Limpeza e regularização da superfície foi feita com pedra de esmeril.

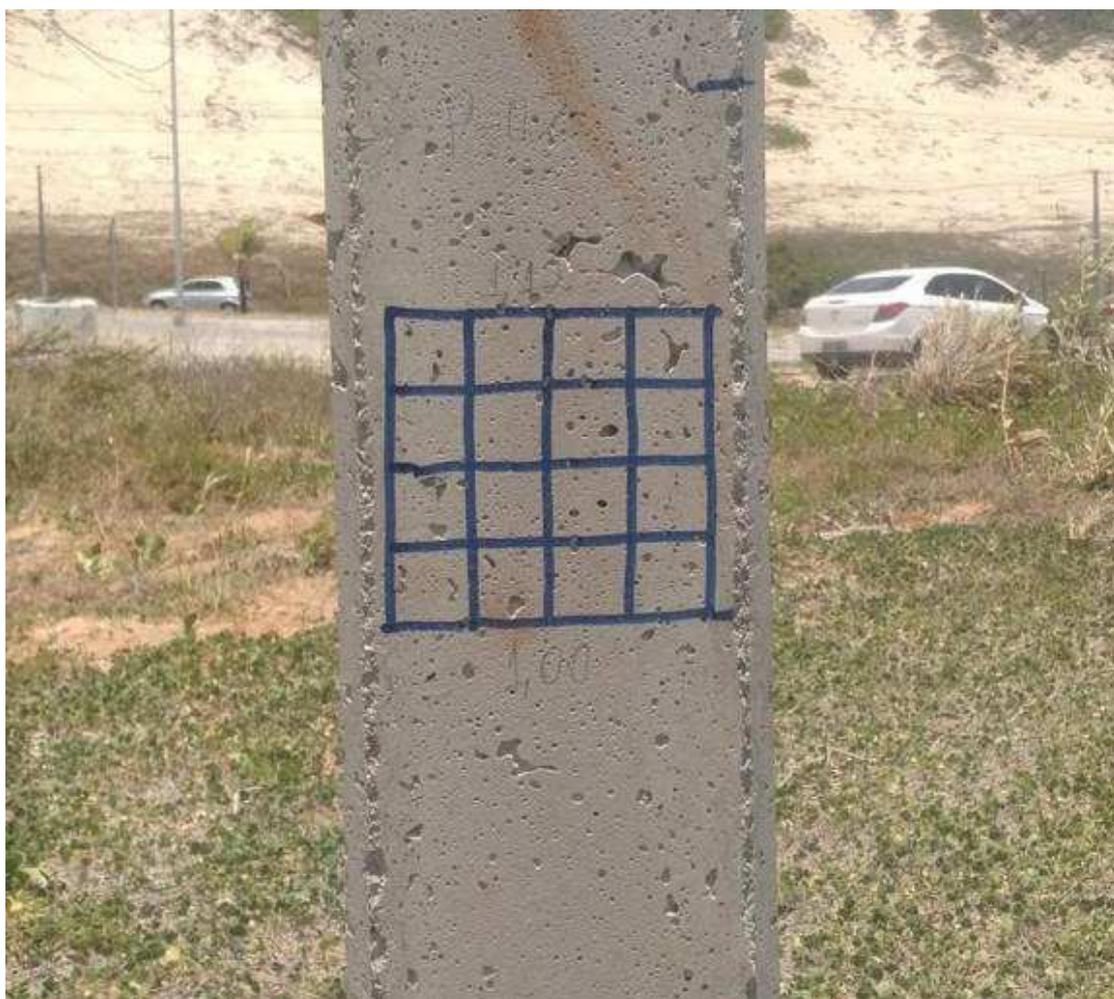
E foram realizadas as marcações dos quadros nos postes para a realização do ensaio. Conforme a ABNT NBR 7584 (1995), o recuo mínimo das bordas do corpo de prova é de 50mm, obtendo, portanto, as imagens abaixo do mapeamento nas figuras 11, 12, 13 e 14.

Figura 11-Mapeamento para esclerometria no poste 01



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 12-Mapeamento para esclerometria no poste 02.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 13-Mapeamento para esclerometria no poste 03.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 14-Mapeamento para esclerometria no poste 04.



Fonte: Dados da pesquisa.

Além das marcações realizadas nos corpos de prova, faz-se importante ressaltar que o resultado dos ensaios serão baseados nos dados presentes na ABNT NBR 7584 (1995) com os índices esclerométricos destacados na Tabela 6.

Tabela 6-Tensão de ruptura em relação ao índice esclerométrico.

<b>Resistência à compressão (MPa)</b>	<b>Índice esclerométrico</b>
< 10	< 20
10 – 20	20 – 30
20 – 35	30 – 40
35 – 50	40 – 50
> 50	> 50

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7584:199

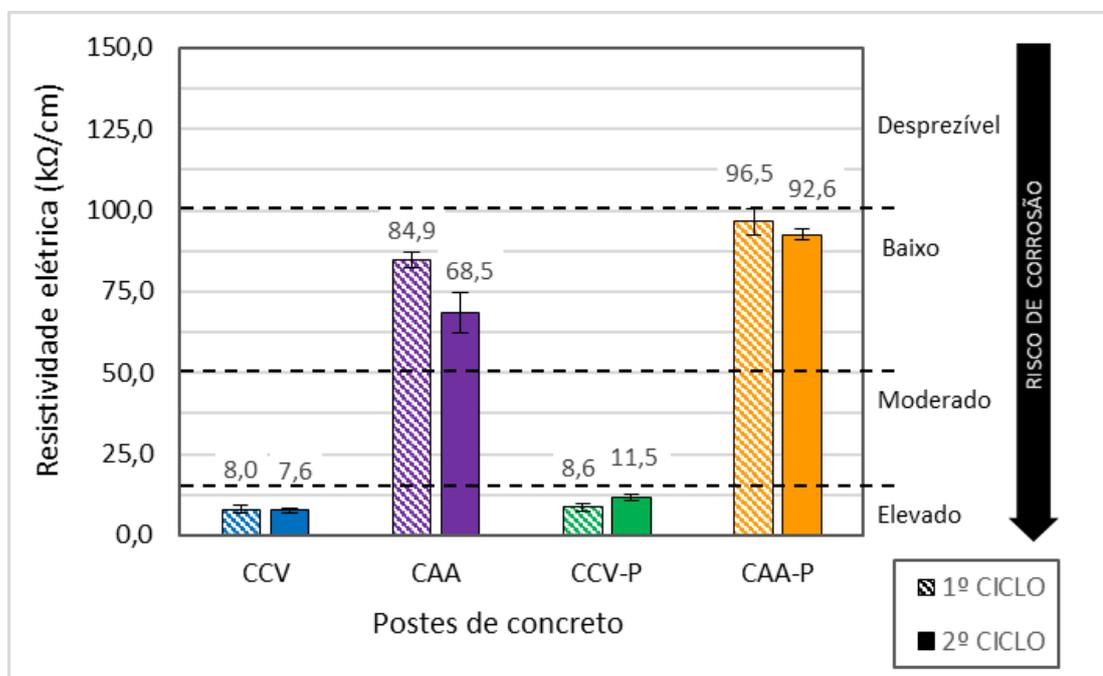
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante da metodologia descrita e realizada, foram obtidos os resultados que estão expostos nesse tópico, subdivididos pelos ensaios realizados. Se faz importante ressaltar que devido a pandemia COVID-19, atualmente vivenciada, não foi possível concluir o planejamento dos ciclos de ensaios para o presente trabalho.

### 5.1. ANÁLISE DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA

O ensaio de resistividade elétrica dos postes de eletricidade feitos com concreto armado foi feito conforme a American Society for Testing and Materials G57:2012. É importante ressaltar que foram realizados dois ciclos de ensaios com idades distintas e com a finalidade de verificar se houve alguma alteração nos objetos de estudo com o avançar da idade. Para melhor síntese dos dados, foi feita a média aritmética das leituras realizadas em cada dia e em cada corpo de prova. Além disso, calculou-se os desvios padrão de cada ciclo de ensaios e estes dados estão representados no gráfico contido na Figura 15.

Figura 15-Gráfico dos resultados dos ensaios de resistividade elétrica em cada poste.



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Com isso, se faz possível observar que realizando uma comparação com a referência usada na tabela 5, o poste CCV apresenta-se com baixa resistividade elétrica, o que significa que por todas as leituras terem sido abaixo de 10 k $\Omega$ /cm, o risco de corrosão no poste 1 é classificado como elevado, de acordo com o ensaio de resistividade elétrica.

O poste CCV-P demonstra estar com os resultados próximos ao do poste CCV, porém na sua composição foi acrescida a pintura de proteção, no qual foi responsável pelos índices de resistividade elétrica mais altos. Com isso, o poste 3 apresenta um risco de corrosão mais próximo da faixa de risco moderado.

Ao analisar o poste CAA, é fácil verificar a enorme discrepância entre os valores apresentados pela resistividade. Nesse caso, foi usado no corpo de prova o concreto autoadensável e, então, atingiu-se um nível de risco de corrosão baixo. No segundo ciclo de ensaio, houve uma queda na resistividade elétrica, porém, considerando o desvio padrão faz-se possível considerar a continuidade no nível de baixo risco de corrosão.

O mesmo pode ser observado no poste CAA-P que além de ser composto por concreto autoadensável, recebeu um tratamento com pintura de proteção, daí foi alcançado o patamar mais alto de resistividade elétrica. Se chegou até 99,3 k $\Omega$ /cm, bem próximo do risco de corrosão desprezível, segundo a Tabela 5.

Foi observado durante o ensaio a maior dificuldade de penetração da água superficial devido a maior quantidade de finos presente a composição do CAA, como pode ser verificado na Tabela 3, o que ocasiona uma maior compacidade desse concreto.

Dessa forma, concordando com a análise dos resultados acima Bonnet e Balayssac (2018) declaram que a resistividade elétrica é suscetível a umidade presente no ambiente em que os corpos de prova estão, e, com isso, quando a saturação aumenta a resistividade se direciona a níveis mais baixos. Já na situação contrária, quando a saturação diminuiu, há um impasse na condução iônica do concreto, fazendo com que os valores da resistividade aumentem bruscamente.

Além disso, a resistividade elétrica pode ser facilmente relacionada a difusividade (capacidade que as substâncias apresentam em se misturar), segundo Fares *et al.* (2018), considerando que os dois dependem da porosidade e da tortuosidade do material. Com isso, quanto maior for a difusividade, mais facilmente a corrente é transmitida no concreto, portanto, a resistividade é menor.

Também é importante verificar os estudos de Kim, Mccarter e Suryanto(2018) que afirmam que os concretos que apresentam a adição de materiais suplementares são

beneficiados com o aumento da resistividade elétrica, isso se explica devido as reações pozolânicas.

## 5.2. ANÁLISE DO POTENCIAL DE CORROSÃO

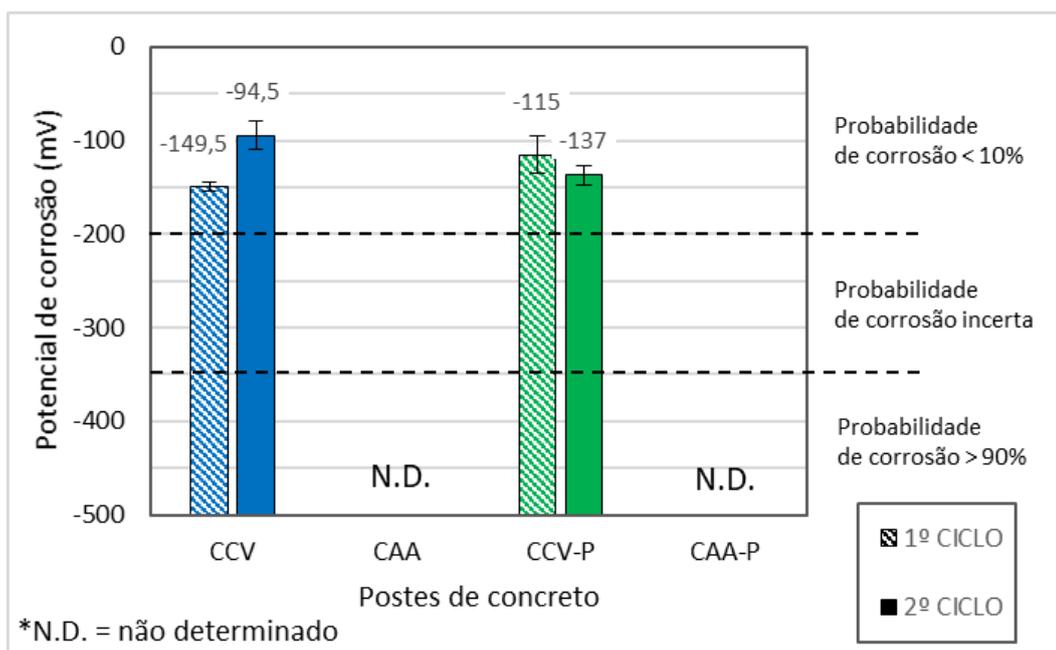
Pelo ensaio do potencial de corrosão é possível analisar as armaduras das estruturas de concreto armado em questão. A investigação foi feita nos 4 (quatro) corpos de prova disponíveis para a pesquisa e executado em diversas distâncias a partir do ponto inicial (onde obtinha o contato direto com o aço).

Com essas posturas, foram coletadas três leituras dos postes 1, 2, 3 e 4 no 1º ciclo (120 dias de idade da confecção e instalação dos corpos de prova) de ensaios e mais duas leituras no 2º ciclo (240 dias de idade da confecção e instalação dos corpos de prova) . Para obter melhores resultados, foi descartada a leitura que mais se destoava dos outros dados obtidos e a partir daí, feita a média aritmética das outras leituras do ciclo de ensaios.

Os postes 2 e 4 (CAA e CAA-P, respectivamente) não indicaram nenhum resultado no equipamento durante o ensaio de potencial de corrosão, pois é pre-requisito do ensaio de potencial de corrosão uma saturação mínima que permita o contato indireto entre o eletrodo de cobre-sulfato com a armação da estrutura de concreto, no caso dos postes fabricados com CAA não foi possível chegar a saturação mínima pelo método de umidhecimento que estava sendo utilizado no estudo, isso se deve também a maior compacidade das estruturas de CAA o que acarreta em uma maior dificuldade da penetração da água, bem como uma maior dificuldade de agentes agressivos induzindo, assim, que as estruturas de concreto possuem uma maior capacidade de proteção física da armadura.

Também, foram calculados os valores de desvio padrão de cada ciclo e de cada poste, é possível verificar os dados do ensaio no gráfico da figura 16.

Figura 16-Gráfico das médias e desvio padrão do potencial de corrosão dos postes 01 e 03.



Fonte: Dados da pesquisa(2020)

Dessa maneira, após a análise criteriosa dos dados e comparação deles é plausível afirmar que os postes CAA e CAA-P (nessa ordem, poste 02 e 04), ao serem molhados durante o ensaio do potencial de corrosão não apresentam eficiência nesse passo por terem um material muito denso. Logo, essa solução aquosa não consegue o contato com as barras da armadura do poste, tornando impossível que o equipamento leia o potencial de corrosão desses corpos de prova.

Devido a pouca diferença de idade entre as leituras, contidas na figura 16, não foi possível compreender a influência da pintura na proteção do poste CCV-P, visto que tanto o poste apenas de CCV quanto o poste de CCV-P, protegido com pintura apresentaram, de acordo com o ensaio de potencial de corrosão, uma probabilidade de corrosão inferior a dez por cento. Porém, os postes confeccionados com CAA não foi possível determinar o potencial de corrosão por esse método haja visto ser um concreto mais denso dificultando a mínima saturação à determinação da leitura. Entretanto, se faz possível concluir que mesmo sem valores sabe-se que, os postes CAA e CAA-P têm uma probabilidade de corrosão consideravelmente menor que os postes CCV e CCV-P (postes 01 e 03, respectivamente).

Sobre isso, pode-se observar pelo que foi comparado por Tutikian e Dal Molin (2008) que o concreto autoadensável apresenta a vantagem de eliminar os nichos de concretagem

(“bicheiras”) e é responsável por dar um excelente acabamento às estruturas, sem a necessidade de vibração, diferentemente do concreto convêncional, que requer cuidado e controle na sua execução.

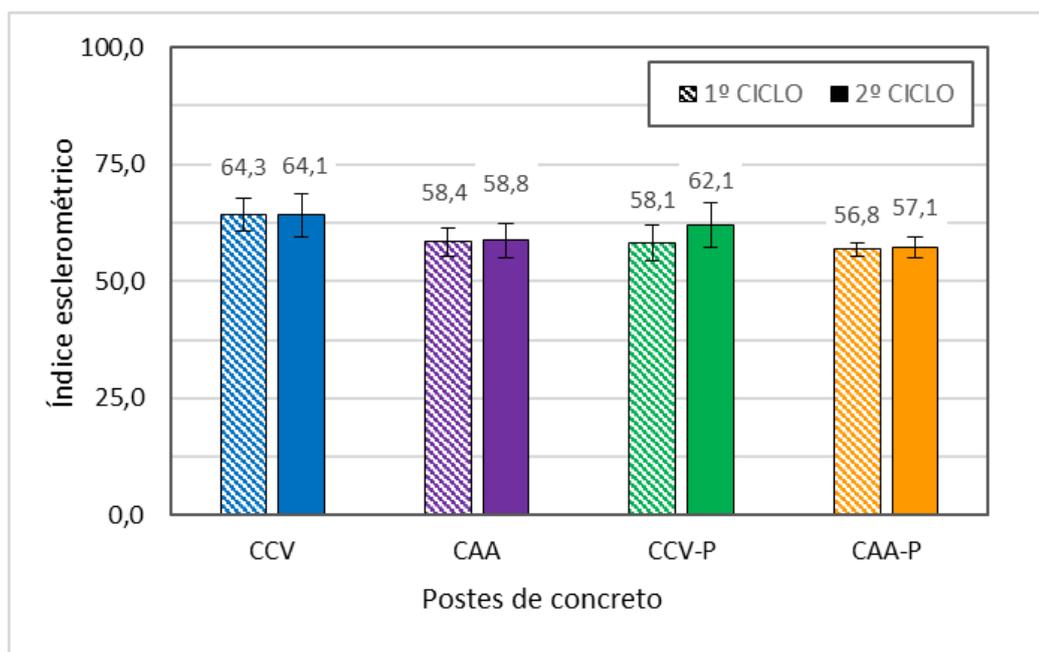
Além disso, outro benefício que pôde ser visto nos resultados anteriores, foi que o “Concreto de Alto Desempenho, que relaciona não apenas o aspecto de resistência elevada ao concreto, mas devido a sua microestrutura mais densa, permite uma durabilidade superior aos concretos convencionais” (LUNA; MOREIRA; LOPES, 2020).

Também é importante considerar a questão observada por Medeiros et al. (2017) que são os fatores que influenciam no ensaio do potencial de corrosão e dentre eles são: grau de umidade do concreto, espessura do revestimento e grau de contaminação por cloretos. Segundo os autores, sobre a umidade do concreto, foi verificado uma significativa influência do teor de umidade no ensaio, pois altos valores da umidade tendem a gerar dados de potencial de corrosão mais eletronegativos, causados pela condutividade elétrica. Já no caso da espessura do revestimento, constatou-se que quanto maior o revestimento, menos será o potencial de corrosão da estrutura. Por fim, a contaminação por cloretos resulta na diminuição dos valores do potencial de corrosão.

### 5.3. ANÁLISE DA ESCLEROMETRIA

O ensaio de esclerometria foi realizado nos quatro postes, sendo divididos em dois ciclos de ensaios (1º ciclo com 120 dias da fabricação e 2º ciclo com 240 dias). Cada ciclo teve cerca de trinta e dois índices esclerométricos que foram sintetizados através da média desses valores. Estão dispostos no gráfico da figura 17, os resultados dos ensaios de esclerometria realizados, juntamente aos desvios padrão calculados.

Figura 17-Índices esclerométricos médios e seus respectivos desvios padrões em cada poste.



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Com os valores do gráfico com as médias aritméticas dos índices esclerométricos não obtivemos grandes variâncias entre valores, pois todas as leituras encontram-se entre 56,8 e 64,3. Logo, verifica-se que é possível afirmar se não houve evoluções consideráveis com relação ao surgimento de patologias nos corpos de prova e não é possível identificar uma diferença significativa na qualidade dos concretos analisados, a partir desse ensaio.

Tendo em vista o resultado obtido, o autor Evangelista (2002) concorda com a resposta chegada, quando afirma que na análise dos parâmetros que induzem o ensaio de esclerometria concluiu-se que nem sempre o fator que influi significativamente na resistência à compressão influencia de maneira considerável a grandeza medida no ensaio não destrutivo, e reciprocamente. Ressalta-se ainda que, os índices esclerométricos são modificados conforme o tipo de cimento e o agregado utilizado no corpo de prova.

Seguindo a mesma vertente, reafirma-se que “o uso da técnica esclerométrica deve se restringir, efetiva e tão somente, nas análises das características superficiais do concreto. Os resultados obtidos indicam que não é confiável se estimar as propriedades mecânicas das peças estruturais como um todo.” (CARVALHO et al., 2013).

Além disso, conforme Réus et al. (2016) existe a influência no ensaio de esclerometria para a avaliação da dureza superficial, pois um dos fatores importantes é a carbonatação, que em alguns casos os valores estimados de resistência a compressão do

concreto, quando submetidos a problemas de carbonatação, são distorcidos em mais de 50% dos valores reais.

## CONCLUSÃO

A avaliação dos avanços das patologias em postes de concreto armado submetidos a região de alta salinidade foi verificada através de ensaios não destrutivos e tiveram a principal vantagem de concluir qual foi a melhor combinação de materiais para diminuir significativamente essa ascensão de adversidades. Dentro desse cenário, buscou-se chegar a conclusão analisando os resultados dos diferentes métodos de ensaios aplicados as estruturas de concreto armado, apresentando, neste trabalho, as aplicações, metodologias, materiais e embasamento bibliográfico sobre o assunto do estudo.

A maioria das técnicas se mostraram eficientes e foram capazes de captar as patologias presentes nos corpos de prova, mesmo o concreto sendo um material complexo formado heterogeneamente. E a partir daí, se fez possível interpretar os resultados e verificar a eficiência da combinação dos materiais para que o desenvolvimento das patologias fosse retardado.

Uma ênfase também mostrada foi no efeito da exposição dos corpos de prova ao longo do tempo, a um ambiente marítimo agressivo como a Via Costeira de Natal/RN. A alta degradação das estruturas em locais como tal motivaram o desenvolvimento e continuidade do projeto, em busca de nas condições locais indentificar qual seria a melhor opção de material.

Com relação ao ensaio de resistividade elétrica que é um indicador da vulnerabilidade da estrutura frente a corrosão, principalmente na presença de íons cloreto. Portanto, após a análise dos dados se faz possível concluir que o poste de concreto autoadensável e com acrescimento de pintura de proteção (04) se sobressaiu no retardo das patologias, comparado aos outros postes do estudo. Ele manteve o alto índice de resistividade elétrica ao passar do tempo e foi considerada praticamente desprezível a chance de corrosão.

Já no caso do ensaio não destrutivo do potencial de corrosão, o mesmo esclarece que o insucesso ao tentar realizar o experimento nos postes compostos por concreto autoadensável (CAA e CAA-P, respectivamente, poste 02 e 04) foi de extrema importância para a coleta de informações. Esse fato, gerou o entendimento de que o material que os compõe se apresenta tão denso a ponto de impedir que a umidade atinja as armaduras, logo, também não alcança-se as barras para executar o ensaio de potencial de corrosão.

Ademais, o ensaio de esclerometria identificou que por não haver mudanças significativas entre os índices esclerométricos obtidos no experimento, esse não pode

afirmar se não houve crescimentos relevantes com relação ao aparecimento de manifestações patológicas nos postes e não é possível indicar uma diferença notável nas propriedades e nas características no material utilizado nos corpos de prova.

Compactando as informações concluídas acima é plausível afirmar que a melhor opção com a finalidade de retardar o avanço das patologias corrosivas na estrutura, que se faz presente em um ambiente de alta salinidade, é o que compõe o poste com concreto autoadensável e protegido com pintura (poste 04).

Por fim, ocasionado pela pandemia do COVID-19 não se fez possível a concretização dos ensaios inicialmente programados, então, como sugestão para pesquisas futuras observa-se: a necessidade de leituras com idades mais avançadas para assim, analisar o efeito do tempo no avanço das manifestações patológicas; efetivação do cronograma sugestivo de realizar bimestralmente 4 ciclos de ensaios, permitindo a criação de gráficos correlacionando o avanço da corrosão com o tempo; e analisar a frente da penetração de íons cloreto através da aspersão de nitrato de prata.

## REFERÊNCIAS

AGGARWAL, Paratibha; AGGARWAL, Yogesh. Carbonation and corrosion of SCC. In: SIDDIQUE, Rafat. **Self-Compacting Concrete: materials, properties, and applications**. Patiala, Índia: Elsevier, 2019. Cap. 7. p. 147-193. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-01683-7>. Acesso em: 13 set. 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G57: Standard Test Method for Field Measurement Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method**. West Conshohocken, PA, 2012.

BALESTRA, Carlos Eduardo Tino; REICHERT, Thiago Alessi; PANSERA, Wagner Alessandro; SAVARIS, Gustavo. Evaluation of chloride ion penetration through concrete surface electrical resistivity of field naturally degraded structures present in marine environment. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 230, p. 116979, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116979>.

BASF. **Ficha Técnica Master Seal 515: revestimento impermeabilizante semi-flexível**. São Paulo: Mbcc Group, 2014.

BASF. **Ficha Técnica: emaco p22**. São Paulo: Ntc Brasil, 2019. Disponível em: <https://www.ntcbrasil.com.br/quimicos-basf/anticorrosivos/emaco/emaco-p22-basf/>. Acesso em: 28 out. 2020.

BRASIL. **Ficha Técnica: hagen cs 800**. 2. ed. São Gonçalo: Hagen do Brasil, 2011. 2 p. Disponível em: [https://issuu.com/hagendobrasil/docs/fichatecnica\\_hagen\\_cs800\\_rev2](https://issuu.com/hagendobrasil/docs/fichatecnica_hagen_cs800_rev2). Acesso em: 19 out. 2020.

BONNET, Stéphanie; BALAYSSAC, Jean-paul. Combination of the Wenner resistivity meter and Torrent permeameter methods for assessing carbonation depth and saturation level of concrete. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 188, p.1149-1165, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.151>.

BROWNE, R.D.; ROBERY, P.C.. Practical experience in the testing of surface coatings for reinforced concrete. **Proceedings Of The Fourth International Conference On Durability Of Building Materials And Components**, [S.L.], p. 325-333, 1987. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-1-4832-8386-9.50045-0>.

CARVALHO, C.H. et al. Estudo comparativo das técnicas não destrutivas de ultrassom e esclerometria na avaliação do desempenho mecânico de estruturas em concreto armado. **Compat-Colombia**, Bogotá, v. 7, n. 1, p. 1-10, out. 2013.

CERQUEIRA, D.P.; PORTELLA, K.F.; PORTELLA, G.D.O.G et al. Deterioration Rates of Metal and Concrete Structures in Coastal Environment of the South and Northeast Brazil: case studies in the pontal do sul, pr, and costa do sauípe, bahia. **Procedia Engineering**, [S.L.], v. 42, p. 384-396, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.430>.

DU, Fengyin; JIN, Zuquan; SHE, Wei; XIONG, Chuansheng; FENG, Guangyan; FAN, Junfeng. Chloride ions migration and induced reinforcement corrosion in concrete with cracks: a comparative study of current acceleration and natural marine exposure. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 263, n. 1, p. 1-11, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120099>.

EUROPEAN STANDARD. **EN 1504-5:2005**: Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity. Dublin: National Standards Authority Of Ireland, 2004.

EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. 239 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

FARES, Milia et al. Determining chloride content profiles in concrete using an electrical resistivity tomography device. **Cement and Concrete Composites**, [s.l.], v. 94, p.315-326, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.08.001>.

FARIAS, Evilane Cássia de. **Avaliação da durabilidade frente ao ataque de CO<sub>2</sub> e Cl<sup>-</sup> em concretos autoadensáveis com elevados teores de resíduo da biomassa da cana-de-açúcar e metacaulim**. 2019. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011.

JOUKOSKI, A.; PORTELLA, K. F.; BARON, O.; GARCIA, C. M.; VERGÉS, G. R.; SALES, A.; PAULA, J. F. de. The influence of cement type and admixture on life span of reinforced concrete utility poles subjected to the high salinity environment of Northeastern Brazil, studied by corrosion potential testing. **Cerâmica**, [S.L.], v. 50, n. 313, p. 12-20, mar. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132004000100003>.

KASHANI, Alireza; NGO, Tuan. Production and placement of self-compacting concrete. In: SIDDIQUE, Rafat. **Self-Compacting Concrete: materials, properties, and applications**. Patiala, Índia: Woodhead Publishing, 2019. Cap. 3. p. 65-81. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-01683-7>. Acesso em: 10 set. 2020.

KIESSE, Tristan Senga; BONNET, Stéphanie; AMIRI, Ouali; VENTURA, Anne. Analysis of corrosion risk due to chloride diffusion for concrete structures in marine environment. **Marine Structures**, [S.L.], v. 73, p. 1-27, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marstruc.2020.102804>.

KIM, Jaehwan; MCCARTER, W. John; SURYANTO, Benny. Performance assessment of reinforced concrete after long-term exposure to a marine environment. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 192, p.569-583, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.151>.

KUZMIN, S.A.; EGOROVA, A.D.; KRASILNIKOV, D.A.; EMELIANOVA, Z.V.. Durability of construction materials modified by polymeric additives. **Procedia Structural Integrity**, [S.L.], v. 20, p. 278-283, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prostr.2019.12.152>.

LANGER, W.H.. Construction Materials: crushed stone, sand, and gravel. **Encyclopedia Of Materials: Science and Technology**, [S.L.], p. 1537-1545, 2001. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b0-08-043152-6/00275-8>.

LINDBERG, B. Protection of concrete against aggressive atmospheric deterioration by use of surface treatment (painting). **Proceedings Of The Fourth International Conference On Durability Of Building Materials And Components**, [S.L.], p. 309-316, 1987. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-1-4832-8386-9.50043-7>.

LO, Tommy Y.; LIAO, Wenyu; WONG, C. K.; TANG, Waiching. Evaluation of carbonation resistance of paint coated concrete for buildings. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 107, p. 299-306, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.026>.

LUNA, Marcos de Souza; MOREIRA, Israyane Beatriz Sena; LOPES, Raduan Krause. Concreto de ultra alto desempenho sustentável. **Mit: São Lucas**, Porto Velho, v. 11, p. 01-02, jun. 2020.

MALHOTRA, V. Mohan. **In Situ: nondestructive testing of concrete - a global review**. Detroit: American Concrete Institute, 1984.

MEDEIROS, M. H. F.; ROCHA, F. C.; MEDEIROS-JUNIOR, R. A.; HELENE, P. Corrosion potential: influence of moisture, water-cement ratio, chloride content and concrete cover. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 864-885, ago. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952017000400005>.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MEIRA, Gibson Rocha. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado: fundamentos, diagnóstico e prevenção**. João Pessoa: Editora Ipfb, 2017.

PAMPLONA, Hilda de Castro. **A importância do uso do concreto de alto desempenho nas obras civis da Via Costeira do estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

PROCEQ SA. **Ficha Técnica: canin +**. Switzerland: Sqs, 2009. 40 p.

PROCEQ SA. **Ficha Técnica: resipod 381 10 000**. Schwerzenbach: Sqs, 2017.

RAMOS, David Henrique. Avaliação de ensaios não destrutivos aplicados ao concreto armado. **Catálogo Usp**, São Paulo, v. 1, p. 1-139, 02 ago. 2019. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/d.3.2019.tde-26112019-082145>.

RÉUS, G. C. et al. Influência da frente de carbonatação na resistência superficial do concreto obtida pelo método da esclerometria. **Cbpat**, Curitiba, p. 1-8, abr. 2016.

RIBEIRO, Daniel Vêras. **Corrosão em estruturas de concreto armado**: teoria, controle e métodos de análise. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SONEBI, Mohammed; YAHIA, Ammar. Mix design procedure, tests, and standards. In: SIDDIQUE, Rafat. **Self-Compacting Concrete**: materials, properties, and applications. Patiala, Índia: Woodhead Publishing, 2019. Cap. 1. p. 1-30. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-01683-7>. Acesso em: 08 set. 2020.

SURYA, T. Rajah; PRAKASH, M.; SATYANARAYANAN, K.s.; CELESTINE, A. Keneth; PARTHASARATHI, N.. **Compressive strength of self compacting concrete under elevated temperature**. Materials Today: Proceedings, [S.L.], p. 1-5, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.746>.

TUUTTI, Kyosti. **Corrosion of steel in concrete**. 4. ed. Stockholm: Civ Ing, 1982. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:960656/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 18 set. 2020.

VIEIRA, Daniel Venâncio; PELISSER, Fernando; PAULA, Marcos Marques da Silva; MOHAMAD, Gihad; NÓBREGA, Ana Cecília Vieira da. Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 431-444, 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-70762010000300006>.

YI, Yong; ZHU, Deju; GUO, Shuaicheng; ZHANG, Zuhua; SHI, Caijun. A review on the deterioration and approaches to enhance the durability of concrete in the marine environment. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 113, p. 103695, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103695>.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpena. **Concreto autoadensável**. São Paulo: Ed. Pini, 2008.