

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

Faculdade de Tecnologia da Praia Grande
Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos

Lucas Gonzaga Macedo dos Santos

Construção de protótipo gerador de névoa salina para
ensaio de corrosão acelerado conforme norma ISO 9227:2017.

Praia Grande
Novembro/2023

Lucas Gonzaga Macedo dos Santos

Construção de protótipo gerador de névoa salina para ensaio de corrosão acelerado conforme norma ISO 9227:2017.

Relatório técnico apresentado à Faculdade de Tecnologia da Praia Grande, no Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, como exigência para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos.

Orientador: Prof. Victor De Oliveira Kuhne

Praia Grande
Novembro/2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Luiz Gonzaga e Maria Aparecida por todo o esforço, dedicação e apoio durante toda minha vida. Por sempre me incentivarem e acreditarem que eu seria capaz de superar os obstáculos que a vida me apresentou.

À minha esposa Caroline Macedo pela compreensão, paciência e apoio em todos os momentos. Sempre presente nos momentos difíceis com palavras de incentivo.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador Professor Victor de Oliveira Kuhne pelo incentivo e pela dedicação do seu tempo ao meu trabalho de graduação.

Meu grande amigo Davi Lima que me incentivou e colaborou grandemente com seus conhecimentos para auxiliar na execução do projeto.

“A ciência é muito mais que um corpo de conhecimentos. É uma maneira de pensar.”

Carl Sagan

RESUMO

Este relatório técnico tem como objetivo apresentar a construção de um protótipo câmara de névoa salina, seguindo as diretrizes estabelecidas na norma ASTM B117 e ISO 9227. A câmara de névoa salina é um equipamento utilizado para realizar testes de corrosão e avaliar a resistência de materiais e revestimentos à exposição a um ambiente salino.

O relatório descreve em detalhes os procedimentos adotados para a construção do protótipo, incluindo a seleção dos materiais, dimensionamento e montagem. Os requisitos da norma ASTM B117 foram seguidos de perto durante todas as etapas do processo, garantindo a conformidade e a confiabilidade dos resultados obtidos.

Foram utilizados materiais resistentes à corrosão, como aço inoxidável, polipropileno e acrílico, para a construção do protótipo. O dimensionamento foi realizado levando em consideração o tamanho necessário para a acomodação das amostras a serem testadas, bem como os dispositivos de controle de temperatura e atomização.

Além disso, são apresentados os resultados preliminares obtidos a partir dos primeiros testes realizados na câmara de névoa salina. Os materiais e revestimentos submetidos ao ambiente salino foram avaliados quanto à sua resistência à corrosão, e os dados coletados foram analisados estatisticamente para fornecer informações relevantes sobre o desempenho dos materiais em condições adversas.

Por fim, o relatório conclui que a construção da câmara de névoa salina de acordo com a norma ASTM B117 foi bem-sucedida e que o equipamento está pronto para ser utilizado em testes futuros da Faculdade de tecnologia de Praia Grande. Os resultados preliminares demonstraram a eficácia da câmara na avaliação da resistência à corrosão de materiais e revestimentos.

Palavras-Chave: Névoa salina, corrosão, ASTM B117, materiais, revestimentos.

ABSTRACT

This technical report aims to present the construction of a salt spray chamber, following the guidelines established in ASTM B117 and ISO 9227 standards. The salt spray chamber is a device used to conduct corrosion tests and assess the resistance of materials and coatings to exposure in a saline environment.

The report provides a detailed description of the procedures adopted for the construction of the chamber, including material selection, sizing, and assembly. The requirements of the ASTM B117 standard were closely followed throughout all stages of the process, ensuring compliance and reliability of the obtained results.

Materials resistant to corrosion, such as stainless steel, expanded PVC, and acrylic, were used for the construction of the chamber. Sizing was carried out considering the necessary space for accommodating the samples to be tested, as well as temperature and pressure control devices.

Furthermore, preliminary results obtained from the initial tests conducted in the salt spray chamber are presented. Materials and coatings exposed to the saline environment were assessed for their corrosion resistance, and the collected data were statistically analyzed to provide relevant insights into material performance under adverse conditions.

In conclusion, the report states that the construction of the salt spray chamber in accordance with the ASTM B117 standard was successful, and the equipment is ready for future testing at the Praia Grande Institute of Technology. The preliminary results demonstrated the effectiveness of the chamber in evaluating the corrosion resistance of materials and coatings.

Keywords: Salt spray, corrosion, ASTM B117, materials, coatings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elementos de fixação afetados pela corrosão da atmosfera marinha. [Autoria própria, 2023.]

Figura 2: Superfície afetada pela corrosão da atmosfera marinha. [Autoria própria, 2023.]

Figura 3: Formas de corrosão. [Gentil, 1996.]

Figura 4: Esquema de deterioração da tinta. [Oliveira, 2020.]

Figura 5: Painel de exposição ensaio não acelerado. [Instituto de pesquisa tecnológicas, 2009.]

Figura 6: Ensaio de corrosão salt spray. [Southwest Research Institute, 2023]

Figura 7: MX 9204. [Site da empresa Associated Environmental Systems, 2023.]

Figura 8: BGD 880/S. [Site da empresa Biuged, 2023.]

Figura 9: Corpo de prova. [Autoria própria, 2023.]

Figura 10: Malha de controle de temperatura da câmara. [Autoria própria, 2023.]

Figura 11: Controlador de temperatura XH-W3001. [Autoria própria, 2023.]

Figura 12: Resistência MD253. [Autoria própria, 2023.]

Figura 13: Vista da área de teste. [Autoria própria, 2023.]

Figura 14: Atomizador ultrassônico. [Autoria própria, 2023.]

Figura 15: Coletores. [Autoria própria, 2023.]

Figura 16: Comando elétrico da câmara. [Autoria própria, 2023.]

Figura 17: Visão interna do painel [Autoria própria, 2023.]

Figura 18: Visão externa do painel. [Autoria própria, 2023.]

Figura 19: Engate rápido de aço inox da câmara. [Autoria própria, 2023.]

Figura 20: Tubo flexível de PU engatado na câmara. [Autoria própria, 2023.]

Figura 21: Tubo de PU engatado na resistência. [Autoria própria, 2023.]

Figura 22: Posicionamento do sistema de aquecimento. [Autoria própria, 2023.]

Figura 23: Posicionamento do PT100 e atomizador. [Autoria própria, 2023.]

Figura 24: Suporte para corpo de prova. [Autoria própria, 2023.]

Figura 25: Posicionamento do PT100 e atomizador. [Autoria própria, 2023.]

Figura 26: Amostras de teste. [Autoria própria, 2023.]

Figura 27: Amostra controle. [Autoria própria, 2023.]

Figura 28: Câmara durante o ensaio. [Autoria própria, 2023.]

Figura 29: Amostras no suporte após o ensaio. [Autoria própria, 2023.]

Figura 30: Amostra ensaiadas e amostra de controle. [Autoria própria, 2023.]

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição da atmosfera [Adaptado de Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização GERMELLI, E.]

Tabela 2: Condições de operação do aparato. [Adaptado de ISO 9227:2017]

Tabela 3: Especificações água tipo IV [Adaptado de norma ASTM D1193, 2018.

Tabela 4: Faixa de perda de massa permitida durante a avaliação corrosiva do gabinete. [Livre tradução da norma ISO 9227, 2017.]

Tabela 5: Levantamento de custos do projeto. [Autoria própria, 2023.]

Tabela 6: cronograma. [Autoria própria, 2023.]

Tabela 7 – Relatório conforme NBR 8094 [Autoria própria, 2023.]

Painel 1: Ensaio de corrosão e normas associadas. [Autoria Própria, 2023.]

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SAE	Society of Automotive Engineers International (Sociedade internacional de engenheiros automotivos)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
Fe	Ferro
C	Carbono
Mn	Manganês
Cr	Cromo
Mo	Molibdênio
Fe ₃ O ₄	Óxido de ferro
O ₂	Oxigênio
H ₂ O	Água
NaCl	Cloreto de sódio
MgCl ₂	Cloreto de magnésio
OH	Hidroxila
IZA	International Zinc Association (Associação internacional do zinco)
IBGE	Instituto brasileiro de geografia e estatística.
NACE	National Association of County Engineers (Associação Nacional de Engenheiros do Condado)
FHWA	Federal Highway Administration (Administração Rodoviária Federal)
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização).
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana para Testes e Materiais)
Cu	Cobre
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
NaOH	Hidróxido de sódio
HCl	Ácido Clorídrico
UFESM	Universidade federal de santa maria
UFERSA	Universidade federal rural do Semi-Árido
CCEN	Centro de ciências exatas e naturais

CETESB	Companhia ambiental do estado de São Paulo
CASS	Copper-accelerated acetic Acid Salt Spray (Névoa Salina Acidificada com Aceleração de Cobre)
NSS	Neutral Salt Spray (Névoa Salina Neutra)
AASS	Acetic Acid Salt Spray (Névoa Salina por Ácido Acético)
TC	Temperature controller (Controlador de temperatura)
TE	Temperature element (Elemento de temperatura)
PVC	Policloreto de vinila

Sumário

INTRODUÇÃO	21
1. OBJETIVO	23
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	23
2.1 PORTO DE SANTOS.....	23
2.2. ATMOSFERA MARINHA.....	24
2.3. CORROSÃO	25
2.3.1. FORMAS DE CORROSÃO.....	27
2.3.2. PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO.....	28
3. TIPOS DE ENSAIOS DE CORROSÃO.....	30
4. ENSAIO DE CORROSÃO POR NEVOA SALINA	33
5. ESTUDO DE MERCADO	35
5.1 MX 9204 – Associated Enviromental Systems.....	35
5.2 BGD 880/S – BIUGED	36
6. PROPOSTA DA NORMA ASTM B117	36
7. ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO	40
7.2 VARIÁVEIS.....	42
7.3 MATERIAIS.....	42
8 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	43
8.1 COMPONENTES DO APARATO	43
8.2 CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO APARATO	43
8.4 CÂMARA SALINA	46
8.5 RESERVATÓRIO DE SOLUÇÃO	47
8.6 SISTEMA DE ATOMIZAÇÃO	47
9 CUSTOS	52
10 CRONOGRAMA.....	53

11	MONTAGEM	53
12	MODELO DE RELATÓRIO.....	58
13	RESULTADO	58
	REFERÊNCIAS.....	62

INTRODUÇÃO

O aço é o material com maior gama de aplicação na indústria, embora não possa ser encontrado na natureza, pode ser obtido através do processo metalúrgico chamado de siderurgia, sendo este o ramo da metalurgia que estuda, em específico, os aços e ferros fundidos. O aço consiste, basicamente, em uma liga metálica de ferro (Fe) e carbono (C), podendo também ter outros elementos de liga como manganês (Mn), cromo (Cr), molibdênio (Mo) em sua composição. Desta forma, o aço é produzido pelo homem por meio de processos de fabricação (SILVA, 2011).

Os aços carbono são classificados segundo normas técnicas elaboradas por instituições internacionais como a Society of Automotive Engineers International (SAE) J403 e pela Associação brasileira de norma técnicas (ABNT) NBR 6650, de acordo com estas normas o aço SAE 1020, por exemplo, é um aço com uma variação de 0,18% a 0,23% de carbono (C) em sua composição.

Outros elementos podem ser adicionados ao aço a fim de lhe conceder determinadas características e atender especificações para diferentes processos e aplicações (SILVIO, 2016).

O Ferro pode ser encontrado na natureza em forma de minérios, um agregado de minerais na forma óxidos como a magnetita (Fe_3O_4) e hematita (Fe_2O_3), por exemplo (SILVA, 2011).

O aço tem uma predisposição a sofrer a corrosão eletroquímica quando exposto ao ar úmido, a presença de oxigênio (O_2) e água (H_2O) formam uma pilha que pode ser representada pelas semiequações de oxidação do ferro $2\text{Fe}_{(s)} \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + 4e^-$ e a equação de redução do oxigênio $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ resultando na equação global de oxirredução da formação do material que é popularmente conhecido como ferrugem $2\text{Fe} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_2$ ou $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (SILVA, 2020).

Segundo Gentil (1996), a forma mais aceita para definir a corrosão é a deterioração total ou parcial de um material, por muitas vezes metálico, por reações químicas e eletroquímicas de um meio, combinadas ou não há esforços mecânicos. Degradação que ocasiona alterações físicas e químicas do material, podendo comprometer seu desempenho.

As reações eletroquímicas responsáveis pela corrosão atmosférica de estruturas estão associadas a diversos fatores como: umidade relativa, incidência de

ventos e temperatura. A presença de certas substâncias também pode favorecer as condições que este fenômeno ocorra com maior intensidade (GENTIL, 1996).

Este fenômeno pode ser atenuado com a aplicação de formas protetivas na superfície do material, ampliando a sua vida útil das estruturas e evitando com que haja o comprometimento da sua funcionalidade, entretanto, a viabilidade destas formas de proteção deve ser levada em consideração na aplicação de cada caso, a fim de evitar oneração dos custos do projeto (OLIVEIRA, 2012).

Uma pesquisa realizada em 2015 pela IZA (International Zinc Association), com apoio da USP (Universidade de São Paulo) a estimativa de gasto anual do Brasil com corrosão é de R\$236 Bilhões, cerca de 4% do PIB do país naquele ano.

Outro grande problema trazido pela corrosão é a redução do processo produtivo de algumas empresas, parada inesperada de produção e até mesmo problemas de segurança, podendo afetar a integridade física dos colaboradores e do patrimônio da empresa. Alguns defeitos causados pela corrosão, são: perda de eficiência no processamento, perda de produto, contaminações e acidentes. Para fins de correção destes defeitos, é necessário o emprego de energia, mão de obra e recursos monetários (GENTIL, 1996).

A corrosão pode ser um grande problema a ser enfrentado pelas empresas, principalmente do ramo portuário, trazendo grandes prejuízos com a necessidade de manutenções periódicas, tanto dos materiais deteriorados quanto aos sistemas de proteções para estes materiais (KOCH, 2002).

Uma máquina para execução de ensaios de corrosão acelerada por névoa salina permite analisar a resistência à corrosão de diferentes materiais, incluindo o aço e suas ligas. Dessa forma, é possível aprimorar as técnicas de proteção contra a corrosão e desenvolver novos materiais com maiores resistência à ação do meio ambiente e do tempo (ASSIS, 2000).

O uso da pulverização de uma solução salina é uma técnica amplamente utilizada para simular a corrosão em diferentes tipos de amostras. A máquina para execução de corrosão acelerada por névoa salina é dotada de parâmetros de controle, o que torna possível padronizar as condições de teste, garantindo a precisão dos resultados obtidos (ASSIS, 2000).

Ao analisar os resultados é possível identificar os materiais mais adequados para as aplicações a que se destinam, bem como aplicar tratamentos e revestimentos protetivos específicos para melhorar sua resistência à corrosão. Isso é particularmente

importante em setores como a construção civil, indústrias e empresas em áreas litorâneas onde as estruturas em aço são expostas a condições ambientais severas, como a maresia e a poluição (KOCH, 2000).

Desta forma, construir uma máquina para execução de corrosão acelerada por névoa salina pode trazer benefícios significativos para empresas que trabalham com aço e suas ligas, garantindo a qualidade dos produtos e a segurança das estruturas em que são aplicados.

1. OBJETIVO

Elaborar e construir de dispositivo de pulverização de névoa salina com de acordo com as normas vigentes, atendendo os requisitos mínimos estabelecidos por normas nacionais e internacionais.

Avaliar o custo e viabilidade de produção de uma unidade geradora de névoa salina, além da realização de testes e determinar melhores materiais para a construção do aparato, levando em consideração sua resistência a corrosão.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 PORTO DE SANTOS

De acordo com estimativas do IBGE em um levantamento de 2021, a população de Santos é de cerca de 433.961 habitantes. A cidade possui uma área total de 280,67 km²

Durante o verão, que compreende os meses de dezembro a março, as temperaturas podem chegar a 30°C, enquanto no inverno, que compreende os meses de junho a setembro, as temperaturas podem ficar em torno de 18°C. A umidade relativa do ar é elevada durante todo o ano, o que pode tornar o clima da cidade abafado em alguns dias.

Segundo dados da CODESP levantados no ano de 2020, o porto de Santos movimentou cerca de 133,5 milhões de toneladas de cargas, sendo o maior porto em movimentação de cargas do Brasil e o maior da América Latina. As principais cargas

movimentadas pelo porto de Santos incluem soja, milho, açúcar, óleo diesel, gasolina e outros produtos.

Santos é uma cidade litorânea, ou seja, é uma região de transição entre a terra e o mar, deste modo, é inevitável que a presença de aerossóis marinhos proveniente das águas e dispersos no ar pela ação dos ventos (CETESB, 2015).

A maresia é um fator que pode causar danos em diversos equipamentos, máquinas e eletrodomésticos, especialmente aqueles que possuem partes metálicas expostas. Na indústria, equipamentos como navios, plataformas marítimas, guindastes e estruturas metálicas de armazenagem são altamente vulneráveis aos efeitos da atmosfera marinha (BABOIAN, 1995).

2.2. ATMOSFERA MARINHA

A atmosfera possui características naturalmente oxidativas, este motivo se deve a presença de água e oxigênio dispersos no ar. Entretanto, em algumas regiões este efeito corrosivo pode ser ampliado devido tanto a uma maior concentração destas substâncias e dos níveis elevados de íons cloreto, por exemplo (GENTIL, 1996).

Tabela 1: Composição da atmosfera

Substâncias	Percentual (%)
N ₂	77%
O ₂	21%
Ar	1%
Traços de outras substâncias	1%

Fonte: Adaptado de Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização
GERMELLI, E.

Segundo Germelli (2014), a composição da atmosfera possui cerca de 21% de gás oxigênio, atuando como principal agente oxidante nas reações de oxirredução, colaborando para a formação de óxidos.

Santos é uma cidade litorânea no estado de São Paulo, por este motivo possui uma atmosfera salina proveniente da maresia, a qual apresenta grandes desafios para as indústrias e portos locais (CETESB, 2015). A maresia é composta por uma mistura

de eletrólitos, como cloreto de sódio (NaCl) e cloreto de magnésio (MgCl₂) dispersos no ar (OLIVEIRA, 2012).

Os aerossóis marinhos são partículas de sais formadas a partir de gotículas que se formam pelo rompimento de bolhas de ar na superfície da água pelo arraste dos ventos e se secam na atmosfera, sendo o principal destes sais o NaCl, ficando este em suspensão no ar (CETESB, 2015).

2.3. CORROSÃO

A corrosão é definida como a deterioração total ou parcial de um material por reações químicas e eletroquímicas de um meio, combinadas ou não há esforços mecânicos (GENTIL, 1996).

A corrosão pode ser causada por diversos fatores, tais como exposição ao ar, água, substâncias ácidas ou básicas, ambientes salinos, atrito e aquecimento, entre outros. A prevenção da corrosão é crucial em três principais pontos: Economia, segurança e conservação (REVIE, UHLIG, 2008).

Segundo Gentil (1996), as perdas econômicas atreladas a corrosão podem ser diretas ou indiretas. Exemplos de perda direta são: Necessidade de substituição de componentes sofreram o ataque corrosivo da atmosfera, onde é necessário o desprendimento de recursos monetários, mão de obra e tempo. Também pode ser considerado uma perda direta todos os custos envolvidos no processo de proteção destes componentes, como pintura, recobrimento e proteção catódica.

Ainda segundo Gentil (1996), as perdas indiretas podem ser mais difíceis de quantificar, embora em uma análise mais crítica, seja possível atribuir custos ainda mais elevados quando em comparados aos custos diretos. Alguns exemplos são: Parada total ou parcial do processamento, perda de produtos de interesse ou insumos, perda de eficiência e segurança.

Em 2002 um estudo americano intitulado “Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States”, conduzido pelo CC Technologies Laboratories inc. em parceria com o FHWA e NACE, estimaram que entre os anos de 1999 e 2001, o custo com corrosão foi de cerca de 276 bilhões de dólares, aproximadamente 3,1% do PIB dos estados unidos, o estudo também apontou que, de forma geral, países industrializados tem de 1% a 5% de custo (KOCH, 2002).

No Brasil, um estudo de 2015 realizado pela IZA em parceria com USP aferiram que o valor anual gasto com a corrosão é de cerca de 236 bilhões de reais, aproximadamente 4% do PIB do país (ABRACO, 2007).

Figura 1: Elementos de fixação afetados pela corrosão da atmosfera marinha



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Figura 2: Superfície afetada pela corrosão da atmosfera marinha



Fonte: Autoria Própria, 2023.

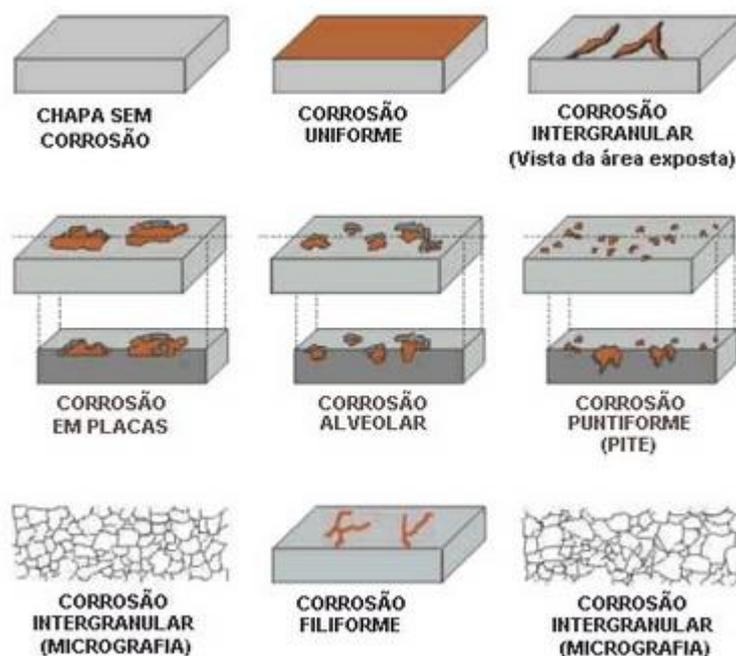
2.3.1. FORMAS DE CORROSÃO

A corrosão pode se apresentar por diferentes maneiras, nomeamos estas formas e tipos de corrosão de forma que remetam as características apresentadas por cada uma delas (OLIVEIRA, 2012).

As principais formas de corrosão conhecidas são: Corrosão uniforme, por placas, puntiforme, alveolar, intergranular e galvânica. Gentil cita em seu livro “Corrosão” de 1996 uma breve descrição para os tipos de corrosão:

- Corrosão uniforme: é a forma mais comum e ocorre de maneira uniforme em toda a superfície exposta.
- Corrosão por placas: ocorre com a formação e desprendimento gradual de placas de óxidos, protegendo a superfície até que haja a ruptura.
- Corrosão puntiforme: é uma forma de corrosão localizada que apresenta profundidade maior que o diâmetro e ocorre em metais formadores de películas protetoras passivas, como alumínio e aços inoxidáveis
- Corrosão alveolar: também é uma forma de corrosão localizada, caracterizada pela formação de alvéolos na superfície exposta ao meio corrosivo.
- Corrosão intergranular: ocorre entre os grãos da estrutura cristalina do material e pode causar perda de propriedades mecânicas, sendo muitas vezes chamada de corrosão sob tensão de fratura.
- Corrosão filiforme: é caracterizada pela formação de filamentos ao longo da área afetada pelo meio corrosivo, ocorrendo geralmente em superfícies revestidas com tintas ou metais pelo processo de metalização.

Figura 3: Formas de corrosão



Fonte: Gentil, 1996.

2.3.2. PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO

Embora a corrosão seja um processo natural, pode ser controlado com a utilização de técnicas específicas para cada aplicação levantadas de acordo com o estudo de cada caso (GENTIL, 1996).

Conforme apontado por Roberge (2000) no livro “Handbook of Corrosion Engineering”, os revestimentos protetores são os produtos mais amplamente aplicados para o controle de corrosão, seja para uma proteção de longo prazo em diversas condições corrosivas, desde exposição atmosférica até condições específicas de processos químicos.

Roberge (2000) cita também outras técnicas utilizadas para a proteção contra a corrosão:

Proteção catódica: Uma superfície metálica com proteção catódica pode ser mantida em um ambiente corrosivo sem deterioração por tempo indefinido. Existem dois tipos de proteção catódica: proteção catódica por corrente impressa (ICCP) e proteção catódica por ânodo sacrificado (SACP), também conhecida como proteção catódica galvânica (REVIE; UHLIG. 2008).

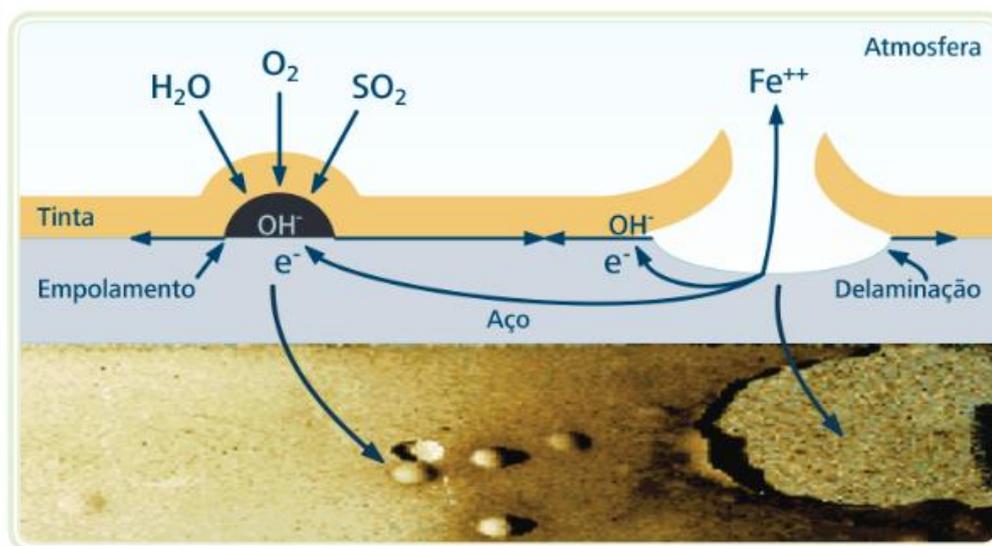
Seleção de materiais: Utilização de materiais resistentes à corrosão para minimizar a sua degradação em contato com o meio corrosivo. Essa escolha deve levar em consideração as características químicas do meio corrosivo, a compatibilidade com outros materiais em contato, as propriedades mecânicas, entre outros fatores (ROBERGE, 1999).

Revestimentos: Utilização de materiais que formam uma camada protetora sobre a superfície do material, impedindo o contato direto com o meio corrosivo, podendo ser revestimento metálico ou não metálico. Exemplos de revestimentos incluem tintas, vernizes, esmaltes, cromação, niquelarão, galvanização, entre outros.

A forma mais comum de proteção de contato para elementos metálicos é a tinta, trata-se de uma proteção não metálica que impede a água e o oxigênio entrem em contato direto com a peça metálica. Este método é normalmente barato, de fácil aplicação e manutenção (NETO, 2016)

Entretanto alguns cuidados devem ser tomados durante a aplicação deste material na superfície do elemento metálico a ser protegido, pois a degradação deste material pode facilmente afetar a proteção do metal (OLIVEIRA, 2012).

Figura 4: Esquema de deterioração da tinta.



Fonte: Oliveira, 2020.

3. TIPOS DE ENSAIOS DE CORROSÃO

Os ensaios de corrosão trazem informações importantes que podem auxiliar na tomada de decisão quanto a aplicação de determinados materiais, proteções de superfície, desenvolvimento de novos materiais e estratégias de proteção para estes materiais. Os ensaios têm como objetivo de determinar o comportamento do material em determinado meio corrosivo. Devido a corrosão ser influenciada por diversos fatores, a aplicação de uma variedade de ensaios diferentes deve ser considerada para uma assertividade na definição dos materiais aplicados (SHERRY, 1988).

Nos ensaios de laboratório são utilizados corpos de prova de menor dimensão e estes são submetidos a condições controladas e o processo de corrosão é acelerado para obtenção mais rápida de resultados. Ensaios de laboratório são mais eficazes para estudar os mecanismos envolvidos no processo de corrosão, verificar se o material ou agente protetor atende as especificações exigidas para o meio, identificar o material metálico mais adequado para o meio (GENTIL, 1996).

Nos ensaios de campo o corpo de prova é exposto ao ambiente e acompanhado periodicamente para a obtenção de resultados reais do ambiente. Os ensaios de campo são apropriados para avaliar a eficiência de proteção anticorrosiva e auxiliar na seleção do material mais adequado para cada meio de exposição e estimar a durabilidade do material testado quando exposto a aquela atmosfera específica onde o ensaio foi realizado (SHERRY, 1988).

Painel 1: Ensaios de corrosão e normas associadas.

Tipo de Ensaio de Corrosão	Descrição	Norma
Ensaio de Corrosão por Imersão	As amostras são submersas em um líquido corrosivo por um período definido para avaliar a taxa de corrosão e os efeitos da exposição.	ASTM G31
Ensaio de Corrosão por Polarização	Mede a resposta eletroquímica de um material à exposição a um ambiente corrosivo, fornecendo informações sobre a resistência à corrosão e cinética das reações.	ASTM G61
Ensaio de Corrosão por Névoa Salina	As amostras são expostas a uma atmosfera contendo partículas de sal, simulando a exposição a condições	ASTM B117

	marítimas, para avaliar a resistência à corrosão atmosférica.	
Ensaio de Corrosão sob Tensão	Avalia a suscetibilidade de materiais à corrosão quando submetidos a tensões mecânicas, importante em aplicações estruturais.	ASTM E8
Ensaio de Corrosão por Erosão-Corrosão	Avalia a resistência de materiais à ação conjunta de corrosão e desgaste causado por partículas abrasivas em ambiente corrosivo.	ASTM G73
Ensaio de Corrosão Intergranular	Avalia a suscetibilidade de materiais à corrosão preferencial ao longo dos limites de grão.	ASTM A262
Ensaio de Corrosão por Ácido Sulfúrico	Avalia a resistência à corrosão em ácido sulfúrico, um reagente corrosivo.	ASTM G35
Ensaio de Corrosão em Concreto	Avalia a corrosão de barras de aço em estruturas de concreto reforçado, importante em construção civil.	ASTM G109

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Segundo Gentil (1996), são exemplos de ensaios de campo realizados:

- Ensaio de corrosão atmosférica
- Ensaio de corrosão em água do mar
- Ensaio de corrosão em solo

Segundo Nunes (2007), ensaios realizados em laboratório, podem ser separados em grupos de ensaios como:

- Ensaio de corrosão por imersão: Imersão contínua, imersão alternada, imersão contínua com agitação, imersão por fluxo contínuo, imersão em líquidos aquecidos, imersão em líquidos associado a esforços mecânicos, imersão em líquidos com pressão.
- Ensaio de corrosão eletroquímica: Impedância eletroquímica, ensaio potencioestático.

- Ensaio de corrosão em câmaras: Câmara de SO₂, câmara de humidade relativa 100%, câmara de nevoa salina.

Ensaio de corrosão por exposição atmosférica: A avaliação é feita por meio da exposição de painéis de teste de diferentes materiais como ligas metálicas em um ambiente específico por um determinado período. Após a exposição, esses painéis são analisados para determinar o grau de corrosão sofrido. Essa avaliação inclui medições da perda de massa, espessura, análise visual e outras técnicas de inspeção para determinar a corrosividade atmosférica (ABNT NBR 6209, 2001).

Figura 5: Painel de exposição ensaio não acelerado



Fonte: Instituto de pesquisa tecnológicas, 2009.

Ensaio de corrosão por câmara de névoa salina: O material é exposto à pulverização de uma solução composta por água desmineralizada e sal em uma câmara de teste, simulando condições de ambientes marinhos (ASTM B-117, 2003).

Figura 6: Ensaio de corrosão salt spray



Fonte: Southwest Research Institute, 2023

4. ENSAIO DE CORROSÃO POR NEVOA SALINA

O teste de Salt Spray é um dos mais antigos e comuns para avaliar a resistência à corrosão, regido pelas normas ISO 9227, ASTM B117 e NBR 8094. O método consiste em introduzir uma solução atomizada de cloreto de sódio em uma câmara fechada e vedada, onde corpos de prova são submetidos a ataques em ângulos específicos. O objetivo é reproduzir as condições encontradas em atmosferas marítimas, utilizando uma névoa com 5% de solução de cloreto de sódio em 95% de água destilada, segundo a norma ISO 9227.

Existem vários fatores que afetam a corrosão, o que torna difícil estabelecer uma correlação direta entre a resistência do metal, a exposição a soluções salinas e a resistência à corrosão em outros ambientes. Por essa razão, os resultados obtidos a partir de testes de resistência à corrosão em ambientes controlados não podem ser considerados como uma orientação definitiva para a resistência à corrosão dos materiais metálicos em todos os ambientes em que são usados. Além disso, a correlação e a previsão do desempenho de corrosão com base na exposição a ambientes controlados nem sempre são possíveis devido às diferenças na composição do material testado, aos métodos de avaliação escolhidos e às variáveis operacionais utilizadas (ASTM B117, 2011).

Este método é um meio de verificar se um material metálico mantém sua qualidade quando comparado a um material semelhante, independentemente de ter ou não proteção contra corrosão. Esse tipo de teste ajuda a identificar descontinuidades e danos em revestimentos. Além disso, esses modelos de testes são frequentemente utilizados para controle de qualidade de matéria prima, permitindo a comparação entre amostras revestidas com o mesmo revestimento (ISO 9227, 2006).

AASS - Acidic Acidified Salt Spray (Névoa Salina Acidificada) e é uma variação do teste NSS, em que é adicionado ácido acético à solução de cloreto de sódio para torná-la mais ácida. Esse teste é considerado mais agressivo do que o NSS, pois a acidez da solução acelera o processo de corrosão (ASTM B117, 2011)

CASS - Copper Accelerated Acetic Acid Salt Spray (Névoa Salina Acidificada com Aceleração de Cobre) e é uma versão mais avançada do teste de névoa salina. Neste teste, além do ácido acético, é adicionado cobre à solução de cloreto de sódio para acelerar o processo de corrosão. Este teste é considerado mais rigoroso do que os anteriores e geralmente é usado para avaliar materiais que serão expostos a ambientes altamente corrosivos (ASTM B117, 2011)

NSS - Neutral Salt Spray (Névoa Salina Neutra) e é o método mais básico e simples de teste de névoa salina. Neste teste, uma solução de cloreto de sódio é atomizada em uma câmara fechada e os corpos de prova são expostos a essa névoa salina por um determinado período (ASTM B117, 2011)

Os aerossóis marinhos, como o NaCl, são principalmente gerados a partir da dispersão de partículas de água do mar, resultado da ação das ondas e dos ventos. Estes eletrólitos podem acelerar a corrosão dos metais (CESTESB, 2015).

A utilização da técnica ensaio para simular estas condições e verificar a qualidade de um produto proposto, no qual é possível conhecer as formas como este fenómeno se manifesta, pois permite observar e compreender a influência decisiva da duração da exposição à humidade (ROBERGE, 2000).

5. ESTUDO DE MERCADO

Muitas empresas fornecem aparatos de ensaio, para a elaboração do protótipo foi optado por realizar uma pesquisa para verificar os equipamentos comercializados.

5.1 MX 9204 – Associated Enviromental Systems

O aparato para teste MX9204, fabricado pela empresa Associated Enviromental Systems, é construído em acrílico e aço inox 316, possui diversas certificações.

Este foi o aparato que mais chamou a atenção durante a pesquisa de mercado por diversos motivos.

Transparência: O aparato permite uma visualização das amostras sem que haja necessidade de abertura da câmara, o que poderia causar a liberação da névoa no ambiente e um desequilíbrio na temperatura podendo afetar o ensaio.

Simplicidade: Este aparato possui todos os requisitos estabelecidos na norma estrategicamente posicionados de forma simples.

Design compacto: Comparando este modelo com os demais encontrados na pesquisa, pode-se constatar que o espaço físico ocupado por este é muito menor devido o design altamente compacto e prático, podendo ser alocado em uma bancada simples de laboratório (Associated Environmental Systems, 2023).

Figura 7: MX 9204



Fonte: Site da empresa Associated Environmental Systems, 2023.

5.2 BGD 880/S – BIUGED

O aparato para teste BGD 880/S, fabricado pela empresa Biuged, é uma construção monobloco em PVC, ou seja, possui todos os componentes necessários para a realização do ensaio em apenas um bloco. Possui alguns componentes construídos em acrílico, como a torre de saturação.

Possui um selo de água para a prevenção do vazamento da atmosfera salina para fora do ambiente de ensaio.

O aquecimento interno da câmara é feito por um tubo de titânio aquecido com vapor d'água.

Figura 8: BGD 880/S



Fonte: Site da empresa Biuged, 2023.

6. PROPOSTA DA NORMA ASTM B117

A Norma B117 da ASTM de 2003 define padrões para a operação e realização de ensaios com a utilização do aparato gerador de névoa salina. A norma descreve características do aparato, procedimento e condições requeridas para manter o ambiente de teste durante o ensaio de corrosão.

6.1. ORIENTAÇÕES GERAIS

O aparato deve ser composto por: Câmara, reservatório de solução, sistema de atomização, suporte para amostras, sistema de aquecimento e controle de temperatura.

Tabela 4: Condições de operação do aparato.

Método de ensaio	NSS	AASS	CASS
Temperatura	35° C +- 37°C	35° C +- 32°C	50° C +- 32°C
Taxa média de coleta para área de coleta horizontal de 80cm ²	1,5 ml/h +- 0,5 ml/h		
Concentração de Cloreto de sódio (Solução coletada)	50 g/l +- 5 g/l		
pH (Solução coletada)	6,5 a 7,2	3,1 a 3,3	3,1 a 3,3

Fonte: Adaptado de ISO 9227, 2017.

6.2. CÂMARA

A norma ASTM B-117 de 2003 fornece as seguintes orientações quanto a câmara:

- O teto da câmara não deve permitir que gotas de solução se acumulem e caiam sobre as amostras.
- As gotas de solução acumuladas nas amostras não devem cair sobre outras amostras.
- O material de construção da câmara deve ser inerte, de forma que não interaja com nevoa.
- A câmara deverá ser mantida em uma temperatura controlada, a medição deverá ser feita a pelo menos 100 mm das paredes e fontes de calor radiante.

- A água utilizada no preparo da solução deverá atender as especificações da norma ASTM D1193.
- A solução não poderá ser reutilizada.

6.3. SOLUÇÃO

De acordo com a norma ASTM B-117 de 2003, a solução salina deverá ser preparada utilizando água destilada ou desmineralizada, onde será dissolvida um valor em massa de NaCl, 5 +- 1 partes de massa de cloreto de sódio para em 95 partes de água.

Ainda segundo a norma, a água deverá respeitar os valores de especificação da água tipo IV disponível na norma ASTM D1193, conforme a tabela abaixo:

Tabela 3: Especificações água tipo IV

Especificação	Valor
Resistividade MΩ·cm ⁻¹ (25°C)	0,2
Condutividade μS·cm ⁻¹ (25°C)	5,0
pH (25 °C)	5,0-8,0

Fonte: Adaptado de norma ASTM D1193, 2018.

A condutividade da água não deverá ser superior a 20 μS/cm a 25 °C ± 2 °C e deverá ser preparada em uma concentração de 50 g/L ± 5 g/L.

O cloreto de sódio utilizado no preparo da solução deve conter valores menores de 0,005% de fração mássica cobre (Cu), níquel (Ni) ou chumbo (Pb). Também não deverá conter uma fração mássica de iodeto de sódio (NaI) superior a 0,1% e uma fração em massa de impurezas totais superior a 0,5%, calculada para o sal seco.

Durante o uso solução deverá ser analisada após a coleta pelos coletores e, se necessário, deverá ser realizada a correção do pH com a utilização de ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH).

6.4. DISPOSITIVOS DE COLETA

Segunda a norma ASTM B-117 de 2003, o sistema deverá contar com dispositivos de coleta, onde devem ser obtidos cerca de 1 a 2 mL de solução em um intervalo de pelo menos 16 horas.

Os dispositivos deverão ser compostos de material inerte e possuir uma área de recolhimento de 80cm².

Apenas névoa deverá ser coletada pelo dispositivo, ficando longe de área onde possa haver gotejamento.

6.5. SISTEMA DE ATOMIZAÇÃO

A norma ASTM B-117 de 2003 apresenta os seguintes parâmetros para o sistema de atomização:

Pressão de atomização deve estar em uma sobre pressão de 70 kPa a 170 kPa. A pressão típica é geralmente de 98 kPa \pm 10 kPa, mas pode variar dependendo do tipo de gabinete e atomizador utilizado.

Para evitar a evaporação da água das gotículas pulverizadas (aerossol), o ar deve ser umidificado antes de entrar no atomizador, passando pela torre de saturação. O ar umidificado também deve ser aquecido de forma que, quando misturado com a solução salina, não haja perturbação significativa da temperatura no gabinete.

Entretanto, não será aplicado ar comprimido no projeto visando preocupações de segurança, simplificação do protótipo e menor custo de operacional.

6.6. CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova utilizados deverão respeitar limites dimensionais, padrões de composição e disposição dentro do aparato definidos pela norma ASTM B-117 de 2003.

As amostras deverão ser suspensas ou apoiadas de forma que façam um ângulo entre 15° e 30° da vertical, além de estarem paralelas a direção principal do fluxo de névoa com relação a superfície testada.

As amostras não deverão entrar em contato entre si ou com qualquer material que possa interferir no ensaio.

A disposição dos corpos de prova deverá permitir a exposição ao nevoeiro e a solução salina de uma amostra não devesse gotejar em outra amostra.

Para validação do ensaio, foi optado por seguir a recomendação na norma ISO 9227 de 2017, que indica que os corpos de prova devem possuir $1\text{mm} \pm 0,2\text{mm}$ de espessura e possuir forma retangular de $150\text{mm} \pm 70\text{mm}$

Figura 9: Corpo de prova.



Fonte: Autoria própria, 2023.

7. ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO

O protótipo foi elaborado visando a realização do ensaio de NSS (Neutral Salt Spray), o teste que consiste na exposição das amostras por um período de 48 horas a uma temperatura de $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, sofrendo o ataque de uma solução atomizada de cloreto de sódio a 5% em um ambiente controlado.

A elaboração do protótipo tem o objetivo de trazer a possibilidade da execução de um ensaio que, normalmente, é executado em um equipamento que possui um custo elevado de aquisição e traz consigo a necessidade da instalação de outros componentes como: Sistema de geração de ar comprimido, sistema de saída de solução, entre outras necessidades. O Protótipo visa trazer uma opção do ensaio com

um custo reduzido e sem a necessidade de instalação dos demais periféricos, optando por um design e um funcionamento mais simplificado, mas visando o atendimento dos requisitos mínimos da norma.

7.1. REQUISITOS

As normas ISO 9227 de 2017 e ASTM B117 de 2003 solicitam alguns requisitos mínimos a serem atendidos para a validação do aparato.

- A câmara deve possuir uma capacidade de distribuição e homogeneização da atmosfera de ensaio.
- Todos os componentes que podem entrar em contato com o spray devem ser construídos ou revestidos de material resistente a corrosão para que não venham a influenciar o ensaio.
- A máquina deverá conter dispositivos de coleta de névoa quimicamente inertes.
- Deverá conter de 4 a 6 corpos de prova laminados a frio com as dimensões de 150mm de comprimento, 70 mm de largura com 1 mm de espessura.
- O teste de corrosão só poderá ser considerado satisfatório se a amostra de referência obtiver a perda de massa 70 ± 10 g/m² durante 48 horas de teste.

Tabela 4: Faixa de perda de massa permitida durante a avaliação corrosiva do gabinete.

Método de teste	Duração do teste (h)	Faixa de perda de massa permitida (g/m²)
NSS	48	70 +- 20
AASS	24	40 +- 10
CASS	24	55 +- 15

Fonte: Livre tradução da norma ISO 9227, 2017.

7.2 VARIÁVEIS

Temperatura: a temperatura é uma variável que deve ser monitorada e controlado no ambiente de teste da cabine. Mais à frente há um detalhamento do método utilizado para a manutenção da temperatura.

Humidade: A câmara permanecerá com a umidade próxima a 100%.

Homogeneização: A área de teste deverá distribuir a nevoa de forma uniforme.

7.3 MATERIAIS

Foi realizado um estudo para o levantamento dos materiais com melhor relação de custo-benefício para a construção dos componentes do aparato gerador de névoa salina.

Para a seleção do material foram utilizados critérios como: custo, resistência mecânica, durabilidade e resistência a atmosfera corrosiva.

- PU (Poliuretano): Flexível e resistente, com capacidade de suportar temperaturas de -35°C a 60°C sem perder suas propriedades.
- Acrílico (Polimetilmetacrilato): é um material utilizado em janelas de aviões, displays e iluminação, e se destaca por apresentar excelente brilho, transparência e resistência a raios UV. Apesar de possuir boa resistência a impactos, é mais quebradiço que o policarbonato.
- Polipropileno (PP): É um polímero, mais precisamente um termoplástico, derivado do propeno ou propileno(plástico) reciclável. Possui propriedades muito semelhantes às do polietileno (PE), mas com ponto de amolecimento mais elevado. Operável até 115°C, admite ter sua resistência calorífica estabilizada para prolongar sua aplicação em temperaturas mais altas, com vida útil que pode atingir 5 anos a 120°C, 10 anos a 110°C e 20 anos a 90°C.
- Aço inoxidável: O aço inoxidável é uma liga de ferro e carbono que contém pelo menos 10,5% de cromo, o que confere resistência à corrosão. Além do cromo, outros elementos de liga, como níquel, molibdênio e titânio, também podem ser adicionados para melhorar ainda mais suas propriedades.

8 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Visando atender os objetivos do trabalho, que é a elaboração e construção de um dispositivo de baixo custo, os próximos capítulos descrevem o processo de construção da câmara.

8.1 COMPONENTES DO APARATO

A câmara salina é composta, basicamente, dos seguintes componentes:

- Cabine de ensaio.
- Atomizador ultrassônico.
- Suporte dos corpos de prova.
- Dispositivo para controle de temperatura.
- Dispositivo de aquecimento.

8.2 CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO APARATO

A tabela 3 da norma ISSO 9227 de 2017, adaptada na tabela 4 deste documento demonstra alguns parâmetros a serem observados durante o ensaio NSS, como:

- Temperatura da cabine de teste deverá ser de 35°C variando entre 33°C e 37°C.
- A área horizontal de coleta dos coletores de nevoa deverá possuir 80cm³, além de coletar uma taxa de 1,5ml/h doendo variar de 1,0m³/h até 2,0m³/h.
- A concentração da solução de cloreto de sódio coletada deverá ser de 50g/l, podendo variar de 45g/l até 55 g/l.
- O pH da solução coletada deverá estar entre 6,5 até 7,2.

8.3 CONTROLE DE TEMPERATURA DA CÂMARA

O controle de temperatura é crucial para que o ensaio seja realizado de forma linear e replicável, de acordo com a norma 9227 é necessário que a temperatura

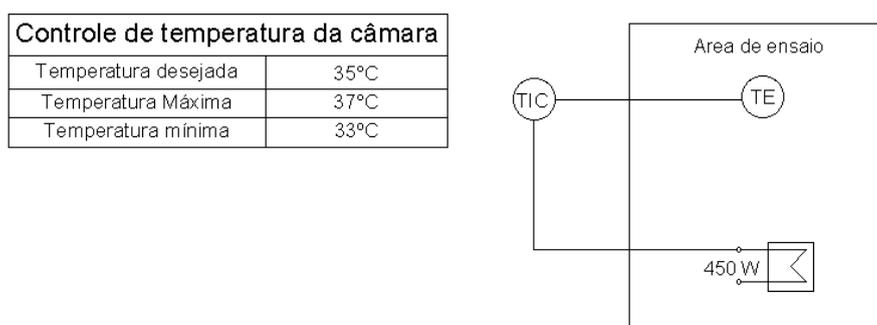
interna da câmara seja de $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ para o ensaio de NSS (Neutral Salt spray), desta forma, iremos utilizar uma malha de controle feedback.

O esquema consiste em um elemento sensor de temperatura que será responsável pela medição da temperatura interna da cabine, este enviará o sinal para o controlador que é responsável por avaliar o set point do parâmetro e determinar a necessidade de correção, este enviará um comando para um soprador térmico que receberá o sinal de liga ou desliga, dependendo da temperatura avaliada pelo controlador, o ar é soprado na área inferior externa da câmara de teste, formando uma camisa de ar quente. O ciclo se repetirá fazendo com que a temperatura dentro da câmara seja praticamente constante.

Outro requisito da norma é a disposição do sensor de temperatura, este deve ser posicionado de forma que fique há, pelo menos, 100mm das paredes e da fonte geradora de calor.

A malha consiste em um elemento primário (TE) responsável por sentir a variação de temperatura do ambiente, enviando um sinal para o transmissor indicador de temperatura (TIT), responsável por converter o sinal enviando pelo elemento primário em um valor de temperatura, indicando-o também em um mostrador. O controlador é o dispositivo responsável por verificar se a temperatura se encontra nos valores preestabelecidos de Setpoint, caso a temperatura esteja abaixo de 33°C , o controlador envia um sinal de “liga” para o elemento final, o soprador térmico responsável por elevar a temperatura da jaqueta de ar. Caso a temperatura exceda os 37°C o controlador enviará um sinal de “desliga” para a resistência.

Figura 10: Malha de controle de temperatura da câmara



Fonte: Autoria Própria, 2023.

O TIC (controlador e indicador de temperatura) utilizado será o XH-W3001, este equipamento armazena a configuração do set-point para ligar quando a temperatura interna da câmara atingir 33°C, mantendo o soprador térmico ligado até a temperatura de 37°C, quando emitirá o sinal de desligar. O TE (PT100), que é um termo resistência, se encontra dentro da câmara, sentindo a variação de temperatura e enviando ao controlador como sinal de corrente.

Figura 11: Controlador de temperatura XH-W3001



Fonte: Aatoria própria, 2023.

Uma resistência elétrica MD 253 de 450 watts será aplicada para o aquecimento de um recipiente com água e, à medida que a resistência converte energia elétrica em energia térmica, a água em torno dela aquece, se expande e se torna menos densa. Água mais quente tem uma densidade menor do que a água fria, o que a faz subir. Esse movimento ocorre devido a convecção. água mais fria e densa se move para ocupar o espaço deixado pela água que está subindo. À medida que a água quente sobe, ela entra em contato com a superfície superior do recipiente e transfere calor para o ar circundante. Desta forma será realizado o controle de temperatura do protótipo.

Figura 12: Resistência MD253



Fonte: Aatoria própria, 2023.

8.4 CÂMARA SALINA

A câmara salina ou área de ensaio é o componente do aparato onde serão depositados os corpos de prova e será enclausurada a névoa, a cabine deverá possuir uma capacidade de distribuição satisfatória da névoa, fazendo uma dispersão uniforme que será comprovada com os coletores de névoa. Esta deverá ser feita de material inerte e resistente a corrosão.

A câmara conterá as amostras, os suportes de amostras, o sistema de atomização e o sistema de distribuição da névoa. Também deverá possuir uma boa selagem para impedir que a névoa saia do ambiente de teste.

Para o protótipo foi estipulado um contêiner com o volume interno de 38,2L tendo as paredes internas as medidas de 380mm largura, 520mm de comprimento e 295mm de altura. Para atender os requisitos de material inerte e facilitar a visualização, foi optado por polipropileno transparente.

Figura 13: Vista superior da área de teste.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

8.5 RESERVATÓRIO DE SOLUÇÃO

Visando a simplificação do protótipo, foi optado por utilizar a própria solução salina como líquido de aquecimento na câmara, desta forma o fluido permanece com a temperatura e o líquido em circulação, como o aparato é destinado a ensaios com menos amostras e em menor escala quando comparado aos equipamentos disponíveis no mercado, o método atenderá de forma satisfatória o objetivo do projeto sem a necessidade de adição de mais periféricos, assim como a oneração e aumento da complexidade de operação do aparato.

8.6 SISTEMA DE ATOMIZAÇÃO

A maior parte dos equipamentos destinados ao teste de nevoa salina encontrados no mercado possuem um sistema de atomização alimentado por ar

comprimido. O ar já saturado passa por um bico atomizador realiza a sucção da solução pelo efeito de Venturi, pulverizando a solução em um tubo e distribuindo-a no interior da câmara, o que torna a implantação do sistema de geração de ar comprimido obrigatória.

Como mencionado anteriormente, o projeto visa uma aplicação mais simples e economicamente mais viável, haja visto que outros encargos e cuidados ocorrem com a instalação do sistema de geração de ar comprimido, para contornar este problema, foi optada por uma tecnologia alternativa, um atomizador ultrassônico.

Este dispositivo utilizado contém uma pequena placa cerâmica chamada de disco piezoelétrico que, quando alimentado com uma corrente elétrica, o disco vibra em uma frequência de aproximadamente 100 kHz, uma fina camada de solução entra em contato com a superfície em vibração mecânica e forma um aerossol, dispersando as gotículas de solução no interior da câmara. Esta tecnologia é bem difundida na aplicação de inaladores hospitalares e humidificadores de ambiente.

Figura 14: Atomizador ultrassônico



Fonte: Autoria própria, 2023.

8.7 TAMPA

Segundo orientação da norma ASTM B117, a tampa da câmara de teste deve possuir uma inclinação que não permita o acúmulo de gotículas de solução que possam cair sobre os corpos de prova, desta forma foi projetada uma tampa com a inclinação de 125°.

8.8 DISPOSITIVO DE AQUECIMENTO

O dispositivo de aquecimento consiste em uma resistência de 450W de 220V em um invólucro de metal acoplada a um tubo também metálico aquecido por condução, a água transita pelo tudo, entrando por uma extremidade e saindo por outra.

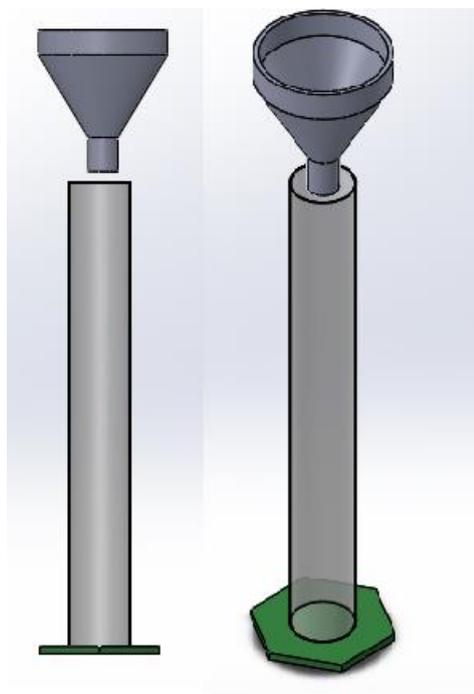
O tubo de aquecimento é conectado por um sistema de engate rápido de inox 304 e tubos flexíveis de poliuretano, a instalação foi feita em níveis ligeiramente diferentes para permitir que a convecção do fluido permita um fluxo contínuo, alimentando a resistência com água mais fria por baixo e sendo descarregada a água aquecida por cima.

A resistência tem seu acionamento feito por um relé de interface. Quando o set point da câmara fica abaixo da configuração, o controlador envia um sinal de corrente e alimenta uma bobina do relé, fechando o circuito e ligando a resistência. Quando o set point é novamente atingido, o controlador cessa o sinal de corrente e o relé é desligado, conseqüentemente, desligando a resistência.

8.9 DISPOSITIVOS DE COLETA

Devem ser dispostos no interior da câmara ao menos dois dispositivos de coleta, estes componentes são responsáveis por coletar apenas a névoa da cabine de ensaio, mas não as gotas que caem dos corpos de prova, também segundo a norma, os coletores deverão ser constituídos de material quimicamente inerte e graduado, de forma que consiga coletar aproximadamente 1,5ml/h +- 0,5 ml/h de solução por um bocal de 80cm² de área.

Figura 15: Coletores.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

8.10 SOLUÇÃO

A solução é composta por água destilada com 5% de NaCl, formada pela dissolução de 50g +- 5g de NaCl para cada volume de 1 litro de água. O cloreto de sódio não deverá conter teores de níquel superior a 0,0001% e não conter mais do que 0,3% de impurezas totais.

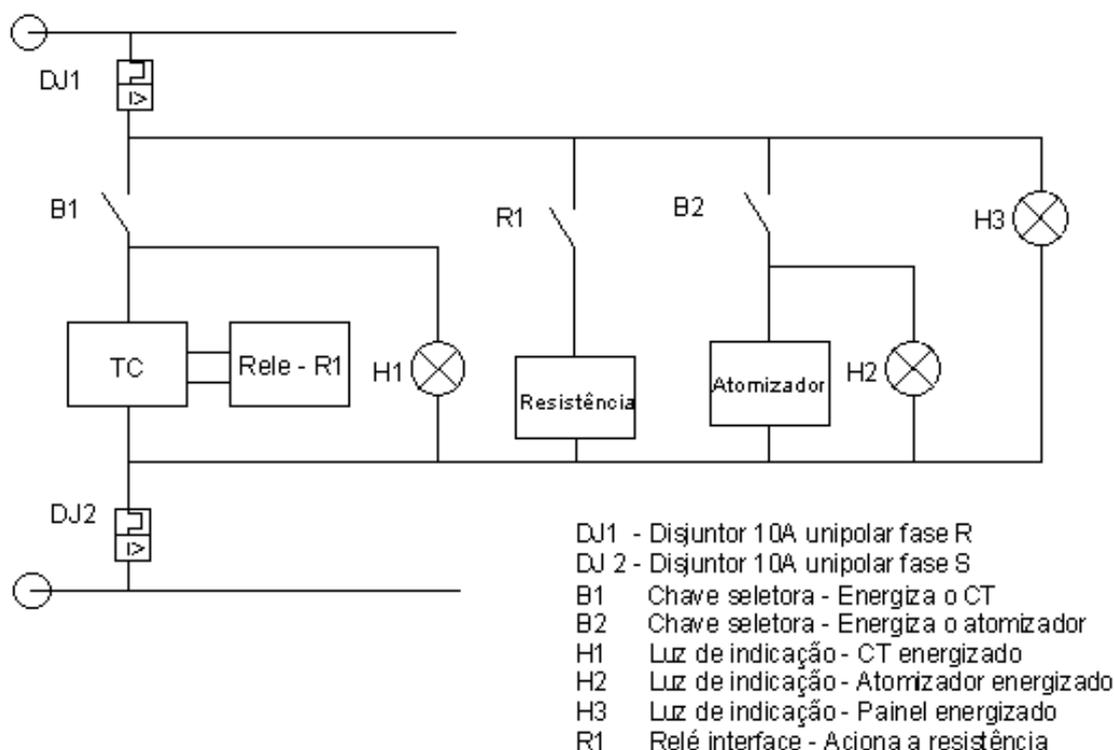
A solução deverá ser filtrada para evitar a obstrução dos bicos de pulverização.

O pH da solução deve ser ajustado para que, após a coleta de pulverização a 35°C apresente um pH entre 6,5 e 7,2, determinados a 25°C +- 2°C. para a correção deverá ser utilizado HCl de pureza analítica.

8.11 PAINEL E ESQUEMA ELÉTRICO

O esquema elétrico foi elaborado visando a segurança funcionamento contínuo do aparato é composto por cabos elétricos, disjuntores, interruptores e iluminação de indicação.

Figura 16: Comando elétrico da câmara.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Conforme a figura 17 mostra, temos a alimentação de duas fases passando pelos dispositivos de proteção, os disjuntores DJ1 e DJ2.

O controlador de temperatura (TC) recebe o sinal pelo PT100 e indica a temperatura da câmara no painel de LED, caso a temperatura esteja fora do especificado, o TC envia o comando de “liga” para o relé (R1), que funciona como uma chave seletora, permitindo que a resistência seja ligada aquecendo o ambiente. Atingido o set-point, o relé é automaticamente desenergizado e o circuito da resistência se abre, fazendo com que a resistência desligue, mantendo a temperatura de 34°C a 36°C.

O painel dispõe de luzes de indicação H1, H2 e H3 para indicar que o controlador de temperatura, atomizador e o painel, respectivamente, estejam em operação.

Tanto o TC quanto o atomizador só entrarão em operação caso a chave seletora seja posicionada na posição “ligado” mesmo que o aparato esteja ligado a

energia, nenhum componente entrará em operação sem o acionamento pela chave seletora.

Figura 17: Visão interna do painel



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 18: Visão externa do painel.



Fonte: Autoria própria, 2023.

9 CUSTOS

Na tabela 5 podemos ver o custo aproximado para a construção do protótipo.

Tabela 5: Levantamento de custos do projeto.

DESCRIÇÃO	QTD	PREÇO UNITÁRIO	VALOR
Controlador de temperatura XH-W3001	1	39,90	39,90
Nebulizador Ultrassônico Mistmaker XTS	1	125,90	125,90
Container polietileno N4 Plasnew 38,2L 520x295x380mm	1	79,90	79,90
Relé de interface slim 220Vac	1	59,00	59,00
Resistência MD253	1	49,99	49,99
Painel de comando Acrílico	1	194,00	194,00
Mini disjuntor monopolar 10A	2	8,42	16,84
Plug fêmea 10A 220V	2	4,00	8,00
Plug macho 10A 220V	2	5,00	10,00
Proveta graduada	2	14,90	29,80

Funil 10cm	2	12,00	24,00
Cabos de cobre 2,5mm ²	-	-	-
Tubo flexível poliuretano (m)	1	8,00	8,00
Sinaleiro LED 220V	3	9,60	28,80
Chave seletora alavanca	2	7,00	14,00
	TOTAL		688,13

Fonte: Autoria própria, 2023.

10 CRONOGRAMA

Na tabela 5 podemos verificar o cronograma para a elaboração e teste do aparato.

Tabela 6: Cronograma.

ETAPAS	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
ESCOLHA DO TEMA	X									
REVISÃO BIBLIOGRAFICA		X	X	X	X	X	X	X	X	
LEITURA DAS NORMAS		X	X							
PESQUISA DE MERCADO				X	X					
ELECAR MAIORES DESAFIOS				X		X				
ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO			X	X			X*	X		
LEVANTAMENTO DE CUSTOS					X	X	X	X		
AQUISIÇÃO DE MATERIAL					X					
APRESENTAÇÃO TG1					X					
EXECUÇÃO DO PROJETO						X	X	X	X	
TESTE E VALIDAÇÃO										X
APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS										X

Fonte: Autoria própria, 2023.

11 MONTAGEM

O protótipo foi montado para ter um funcionamento simples e fácil de ser montado.

A área de teste da câmara deve ser posicionada em um lugar plano e nivelado. Deve-se começar pelo engate do tubo flexível entre a câmara e a resistência.

Figura 19: Engate rápido de aço inox da câmara.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 20: Tubo flexível de PU engatado na câmara.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 21: Tubo de PU engatado na resistência.



Fonte: Aatoria própria, 2023.

Para tornar o projeto mais compacto e trazer maior segurança, a caixa da resistência deverá ser posicionada atrás do painel. Desta o risco de contato com a superfície aquecida será menor para o operador.

Figura 22: Posicionamento do sistema de aquecimento.



Fonte: Aatoria própria, 2023.

O próximo passo é posicionar o PT100 e o atomizador dentro da câmara.

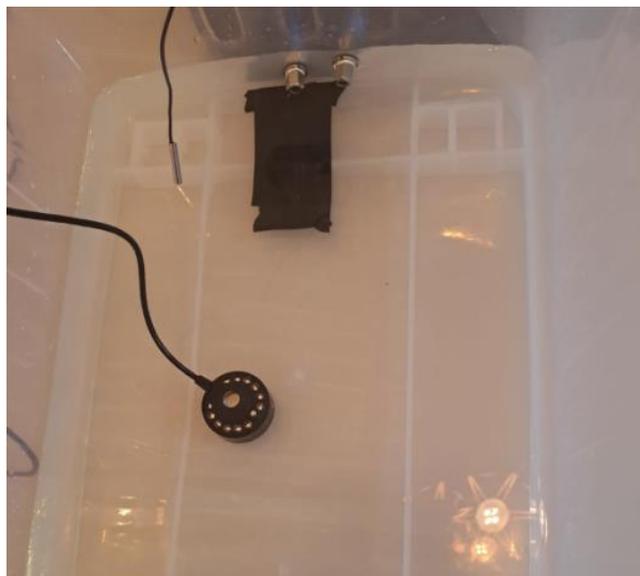
Em acordo com a norma ISO 9227 de 2017 o PT100 deverá estar posicionado a pelo menos 100mm das paredes e das fontes de calor radiante.

O atomizador não ejeta a nevoa em uma direção específica, desta forma, é optado posicionado no centro da câmara ou próximo a parede ao fundo.

O preenchimento da câmara com a solução deverá ser suficiente para cobrir o segundo engate rápido e permitir a livre circulação de água na resistência. Deve-se verificar todas as conexões a fim de garantir que não há vazamentos. Após isso a tampa de proteção da resistência poderá ser fechada.

Nos testes foi possível verificar que 5 litros de solução são o suficiente para chegar ao nível adequado e garantir uma margem de segurança.

Figura 23: Posicionamento do PT100 e atomizador.



Fonte: A autoria própria, 2023.

O suporte dos corpos de prova é feito de PVC (policloreto de vinila) que também é um polímero sintético inerte. Estes suportes são moveis podem ser alocados conforme necessidade dentro da câmara.

Figura 24: Suporte para corpo de prova



Fonte: Aatoria própria, 2023.

Com o equipamento ainda desligado, deve-se ligar os disjuntores dentro do painel. Após fechar o painel o equipamento pode ser ligado na tomada 220 volts.

A luz vermelha indicando que o painel está “energizado” será ligada, após este passo é importante não abrir o painel novamente por questões de segurança. As chaves seletoras devem ser ligadas conforme a necessidade para iniciar o ensaio.

O ensaio só deve ser considerado iniciado quando a câmara atingir a temperatura de ensaio de 35°C e a nevoa esteja preenchendo toda a câmara.

Figura 25: Posicionamento do PT100 e atomizador.



Fonte: Aatoria própria, 2023.

12 MODELO DE RELATÓRIO

Segundo a norma NBR 8094 relatórios gerado após o ensaio utilizando a câmara salina deverá conter:

1. Objetivo do ensaio.
2. Método aplicado.
3. Descrição dos corpos de prova: composição química, dimensões e forma, tipo de revestimento aplicado.
4. Método de limpeza aplicado nos espécimes antes e após o ensaio.
5. Período de exposição das amostras.
6. Interrupções de ensaio, motivos e duração.
7. Resultados obtidos.

13 RESULTADO

Foi realizado um ensaio preliminar afim de verificar a capacidade corrosiva da câmara.

Três amostras de aço SAE 1020 retangular de 150mm x 70mm com 1mm de espessura, foram polidas com lixa 320 para metais e registradas. Duas das amostras foram posicionadas no suporte dos corpos de prova e posicionadas dentro da câmara salina sem revestimento.

Figura 26: Amostras de teste



Fonte: Aatoria própria, 2023.

Uma das amostras permaneceu fora da câmara sem exposição a humidade para avaliar e comparar com a aparência das amostras ensaiadas.

Figura 27: Amostra de controle.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A câmara foi colocada em operação e operou durante 24 horas.

Figura 28: Câmara durante o ensaio.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Com o ensaio finalizado foi realizada a inspeção visual das amostras e elaborado o relatório de teste preliminar.

Figura 29: Amostras no suporte após o ensaio



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 30: Amostra ensaiadas e amostra de controle



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 7 – Relatório conforme NBR 8094

1. Objetivo do ensaio.
Ensaio de teste para verificação de corrosividade da câmara.
2. Método aplicado.
NSS - Nevoa salina neutra
3. Descrição dos corpos de prova: composição química, dimensões e forma, tipo de revestimento aplicado.
Corpo de prova retangular de 150mm x 70mm com 1mm de espessura, aço SAE1020 sem revestimento.
4. Método de limpeza aplicado nos espécimes antes e após o ensaio.
Antes: Polimento da superfície de ensaio. Depois: Secagem.
5. Período de exposição das amostras.
24 horas
6. Interrupções de ensaio, motivos e duração.
Sem interrupções
7. Resultados obtidos.
Foi verificado que a câmara não possui uma homogeneização satisfatória, embora o controle de temperatura tenha se mantido estável e a câmara tenha se apresentado estanque. Foi verificado um padrão de corrosão formado na amostra indica que a nevoa permaneceu a um certo nível, não se espalhando de forma homogênea na área de teste. outro indicativo que corrobora a hipótese é coletor de névoa com baixa taxa de coleta.

Fonte: Autoria própria.

REFERÊNCIAS

SILVA, José Nazareno Santos. **Siderurgia**. Santa Maria: UFSM, 2011.

SILVA, Jardel Freire. **Estudo sobre proteção contra corrosão do metal em ambiente salina. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel)** – Ciências e tecnologia, Universidade federal rural de semiárido – UFERSA, Centro de ciências exatas e naturais (CCEN), Rio Grande do Norte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/34e19c83-bddf-4f99-a487-0341ba9d4ef6/content> Acesso em: 25/08/2023.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 1996

OLIVEIRA, Antônio Roberto. **Corrosão e tratamento de superfície**. Santa Maria: UFSM 2012.

CETESB. **Avaliação da qualidade do ar no município de Santos de 2011 a 2014**. São Paulo s.n.:2015. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2016/06/Renata-Maria-Guerra-de-Andrade_Avalia%C3%A7%C3%A3o-da-Qualidade-do-Ar-no-Munic%C3%ADpio-de-Santos-entre-2011-e-2015-Analisada-com-Base-nos-Dados-do-QUALAR.pdf
Acessado em: 29/08/2023

Deterioração de materiais. Disponível em: <http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais/materiaiscap9.pdf>. Acessado em: 27/11/2023

Jr., W. D. C.; RETHWISCH, D.G. **Ciência e Engenharia dos Materiais – Uma introdução. 9ª ed.** Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2016.

FERREIRA, L.A. **Química Aplicada: Corrosão**. Curitiba: Petrobras: UNICESP, 2002.

ISO 9227 INTERNATIONAL STANDARD. **Corrosion tests in artificial atmospheres - Salt spray tests** – Julho/2017.

ASTM B-117; **Methods of Salt Spray (Fog) Testing. Annual Book of ASTM Standards**, (Philadelphia, PA: ASTM) – 2003

ABNT NBR 8094: julho 1983. **Material metálico revestido e não revestido - Corrosão por exposição à névoa salina**. Jul 1983.

ABNT NBR 6209: maio 2007. **Corrosão atmosférica - Materiais metálicos - Ensaio não-acelerado**. maio 2007

Polymer Science and Technology for Engineers and Scientists - Ronald A. Siegel e John R. Fried. 2010.

NUNES, L. P. **Fundamentos de Resistência à Corrosão**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Interciência: IBP: ABRACO, 2007.

GERMELLI, E. **Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização** 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2014.

SILVIO F. **INTRODUÇÃO AO ESTUDO DOS AÇOS**, 2016.

HOU, B. et al. **The cost of corrosion in China**. Npj | Materials Degradation, 2017. Disponível em <https://www.nature.com/articles/s41529-017-0005-2> Acessado em: 20/11/2023

G. H. Koch **NACE CORROSION COSTS AND PREVENTIVE STRATEGIES IN THE UNITED STATES**, 2002 Disponível em: <http://impact.nace.org/documents/ccsupp.pdf> Acessado em: 20/10/2023.

ROBERGE, P.R. **Handbook of Corrosion Engineering**. United States of America: McGraw-Hill. 2000.

ASSIS, S.L. **Estudo Comparativo de Ensaios Acelerados para Simulação da Corrosão Atmosférica**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN. 2000, Disponível em: http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Sergio%20Luiz%20de%20Assis_M.pdf Acessado em 02/11/2023.

Revie, R.W. and Uhlig, H.H. **Corrosion and Corrosion Control. An Introduction to Corrosion Science and Engineering**. 2008

SHERRY, B. S.; ALAVI, A.; LINDGREN, K. I. **Environmental and electrochemical test methods for evaluation of protective organic coatings**. Journal of Coatings Technology, 1988

BABOIAN, R. Corrosion Tests and Standards: Application and Interpretation. Philadelphia: ASTM, 1995.

ASTM, D. ASTM D1193-06 2018. **Standard Specification for Reagent Water**. ASTM Int