



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**

**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANDRE LUCAS ROCHA DE ARAUJO**

**NATACHA STEPHANY SOUSA DA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CÂMARA DE NÉVOA SALINA PARA  
SIMULAÇÃO E ANÁLISE DA AÇÃO DA MARESIA NA REGIÃO LITORÂNEA DA  
CIDADE DE SÃO LUÍS – PROJETO DE VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DO  
PRIMEIRO LABORATÓRIO DE CORROSÃO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL  
DO MARANHÃO**

**SÃO LUÍS  
2019**



**ANDRE LUCAS ROCHA DE ARAUJO**

**NATACHA STEPHANY SOUSA DA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CÂMARA DE NÉVOA SALINA PARA  
SIMULAÇÃO E ANÁLISE DA AÇÃO DA MAREZIA NA REGIÃO LITORÂNEA DA  
CIDADE DE SÃO LUÍS – PROJETO DE VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DO  
PRIMEIRO LABORATÓRIO DE CORROSÃO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL  
DO MARANHÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da  
Universidade Estadual do Maranhão como parte  
dos requisitos exigidos para obtenção do título  
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Francismar Rodrigues de Sousa.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À  
VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA  
DEFENDIDA PELOS ALUNOS ANDRE  
LUCAS ROCHA DE ARAUJO E  
NATACHA STEPHANY SOUSA DA  
SILVA, E ORIENTADA PELO PROF.  
MSC. FRANCISMAR RODRIGUES DE  
SOUSA.

.....  
ASSINATURA DO ORIENTADOR

SÃO LUÍS  
2019



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CÂMARA DE NÉVOA SALINA PARA  
SIMULAÇÃO E ANÁLISE DA AÇÃO DA MAREZIA NA REGIÃO LITORÂNEA DA  
CIDADE DE SÃO LUÍS – PROJETO DE VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DO  
PRIMEIRO LABORATÓRIO DE CORROSÃO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL  
DO MARANHÃO**

Autores: André Lucas Rocha de Araújo e Natacha Stephany Sousa da Silva

Orientador: Prof. Msc Francismar Rodrigues de Sousa.

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

---

**Prof. Me. Francismar Rodrigues de Sousa, Presidente**  
**Universidade Estadual do Maranhão**

---

**Prof. Valdirson Pereira Mendes**  
**Universidade Estadual do Maranhão**

---

**Prof. Me. Núbia Célia Bergê Cutrim**  
**Universidade Estadual do Maranhão**

São Luís, 27 de junho de 2019.



## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos este trabalho, que é a concretização de uma das primeiras grandes realizações de nossas vidas, principalmente, às nossas famílias, que são nossa base e maiores apoiadores.



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por estar comigo todos os dias me guiando e iluminando em meus caminhos.

Agradeço ao meu pai, Aurélio, minha mãe, Vanessa, e minha irmã, Maria, pois eles são meu primeiro amor, meus primeiros professores, minha primeira responsabilidade e minha vida é em função de honrá-los. Peço perdão por todo estresse e pelas vezes que pareci ausente por estar focando justamente em me realizar profissionalmente para orgulhá-los. Obrigado por todo apoio e por nunca deixarmos de nos sustentar uns nos outros, mesmo nas piores crises, pois se eu ainda continuo de cabeça erguida e seguindo em frente depois de tantas quedas, é por vocês. Sempre foi.

Agradeço à minha família em geral, pois todo caráter, respeito e honra são formados primordialmente pelos exemplos do nosso próprio sangue, e graças a Deus sempre tive os melhores comigo.

Aos meus amigos por toda paciência durante toda minha vida acadêmica em geral, vocês sabem mais que ninguém por tudo que já passei e o quanto batalho para dar tudo do bom e do melhor para aqueles que amo. Amigos são a família que escolhemos, e eu escolhi vocês por uma razão. Nunca esperem nada menos que minha eterna lealdade.

Agradeço à minha dupla de projeto de pesquisa e deste trabalho, Natacha, pois apesar de tantas diferenças de pensamento em vários assuntos, sempre houve acima de tudo respeito, determinação e paciência durante as atividades. Sim, finalmente conseguimos.

No mais, agradecer a todos que estiveram direta e indiretamente ligados ao desenvolvimento desde trabalho e também à minha formação acadêmica como meu professor orientador Prof. Me. Francismar por todo conhecimento, meus amigos de curso que nunca serão esquecidos pelos momentos dentro e fora de sala, meus colegas de trabalho na ABF Comércio e Engenharia LTDA por toda experiência, aos monitores dos laboratórios utilizados pela



disponibilidade, professores e trabalhadores de outros centros da UEMA pela ajuda e aos colaboradores do Nutenge por todo auxílio.

Muito obrigado,

André Lucas Rocha de Araújo.



Agradeço primeiramente a Deus e à Virgem Maria por sempre me ampararem em toda minha caminhada. Sem vocês eu não seria nada.

Agradeço aos meus pais, Lucio e Tânia, e ao meu irmão, Lúcio Octávio, por sempre acreditarem na minha capacidade de ir mais longe. Este trabalho é fruto do amor e dedicação de vocês. Se eu cheguei até aqui sem desistir foi por vocês. Amo tanto vocês!

Agradeço aos meus melhores amigos, Alyssa, Hyngrid, Iagho e Luana, serei eternamente grata por nunca desistirem de mim, nem nas minhas piores crises.

Agradeço ao André, minha dupla favorita, meu parceiro de projeto e de TCC. Superamos nossas inúmeras diferenças acima de tudo, com respeito. Eu falei que iríamos conseguir, não falei?

Ao meu amigo de curso e de vida, Adilson, que sempre se disponibilizou a me ajudar com tudo que eu precisasse. Obrigada pelo carinho (do jeitinho dele) e por todo o apoio que tu me deste.

Agradeço ao meu bem, Messias, que nessa reta final me deu forças e me fez acreditar todos os dias que eu iria conseguir. Tu és parte disso.

Agradeço ao programa PIBIC/UEMA, por fomentar a parte de iniciação científica usada nesse projeto.

Agradeço ao meu orientador, Prof Francismar pela confiança que faríamos um bom trabalho. Ao Prof Barros, pelos materiais cedidos para realização do nosso projeto. Ao Sr. Reginaldo, por ser tão solícito e nunca negar meus pedidos de última hora.

Um agradecimento especial ao Professor Adilson, Diretor do Curso de Química da UEMA, por todo apoio, não medindo esforços para nos ajudar na finalização do nosso TCC. Ao Professor Amadeu por sempre tirar minhas dúvidas e ser uma pessoa tão paciente e adorável.



Agradeço aos meus professores da época do IFMA – vocês me fizeram acreditar no meu sonho de fazer engenharia, e cá estou – uma lembrança especial ao Professor Façanha, por ser um incrível mestre, e ao Professor Eric, por aflorar ainda mais o meu amor por cálculo.

Agradeço também a todos os professores da Universidade Estadual do Maranhão - até aqueles que me fizeram passar noites acordadas e questionar se realmente era isso que eu queria para a minha vida – muito obrigada.

Por fim, meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas envolvidas direta ou indiretamente para minha formação e evolução acadêmica e pessoal.

Muito obrigada,

Natacha Stephany Sousa da Silva.



*“O mundo não é um mar de rosas; é um lugar sujo, um lugar cruel, que não quer saber o quanto você é durão. Vai botar você de joelhos e você vai ficar de joelhos para sempre se você deixar. Você, eu, ninguém vai bater tão forte como a vida, mas não se trata de bater forte. Se trata de quanto você aguenta apanhar e seguir em frente, o quanto você é capaz de aguentar e continuar tentando. É assim que se consegue vencer. ”*

Rocky Balboa



## RESUMO

A corrosão é um processo natural de deterioração do material, causando não apenas perdas financeiras pela constante manutenção ou troca de peças, mas pela perda de propriedades mecânicas dos materiais afetados, o que pode vir a causar acidentes. Este problema pode ser agravado de acordo com o material trabalhado, o processo utilizado ou o ambiente em que se encontra. Regiões litorâneas aceleram o processo corrosivo por inúmeros motivos, sendo a maresia um dos principais. A maresia é uma névoa salina provinda do mar carregada principalmente com sais como cloreto de sódio e de magnésio. Com intuito de evitar e combater a corrosão causada pela maresia na região litorânea de São Luís do Maranhão, será construída uma câmara de névoa salina (CNS) para ensaio de corrosão acelerada (*salty spray*), a partir da pulverização de uma solução de 5% de NaCl sobre os corpos de prova durante um período de 48 horas, simulando o ambiente litorâneo. Esta construção seguirá normas como ISO 9227 e ASTM B117, com um custo de produção muito inferior à de um equipamento comercial. Haverá a realização e análise de testes para validação e estudo dos resultados, permitindo assim, a busca das melhores soluções para combater e tratar a corrosão encontrada nos materiais expostos nesta região. Uma vez concretizado, servirá como o primeiro equipamento do futuro laboratório de corrosão da universidade.

**Palavras-chave:** Corrosão; maresia; Salt Spray Test; Câmara de Névoa Salina.



## ABSTRACT

Corrosion is a natural process of deterioration of material, causing not only financial losses due the constant maintenance or parts exchange, but also because of the loss of the mechanical properties of the material, which may cause accidents. This problem can be increased depending on the working material, the used process or the current environment. Coastal regions accelerate the corrosion because of many reasons, with sea air being one of the principals. Sea air is a saline fog coming from the sea with a big amount of salts like sodium chloride and magnesium chloride. In order to avoid and fight the corrosion made by the sea air in the coastal region of São Luís Maranhão, it will be made a salt spray chamber to realize the salt spray test, from spraying a solution with 5% of NaCl over the specimens in a period of 48 hours, simulating the coastal environment. This construction will follow standards like ISO 9227 and ASTM B117, with a lower production cost if compared to a commercial equipment. Tests will be realized and analyzed to evaluate and study the results, thus allowing, the search for better solutions to fight and treat the corrosion found in the materials exposed in this region. Once finished, this will be the first equipment in the future university laboratory of corrosion.

**Keywords:** Corrosion; Sea air; Salt spray test; Salt spray chamber.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.1 – Corrosão.....	35
Figura 4.2 – Corrosão Uniforme .....	36
Figura 4.3 - Corrosão Galvânica .....	36
Figura 4.4 - Corrosão em Frestas.....	37
Figura 4.5 - Corrosão po Pites .....	38
Figura 4.6 - Corrosão Intergranular.....	38
Figura 4.7 - Corrosão Seletiva .....	39
Figura 4.8 - Corrosão por Erosão .....	39
Figura 4.9 - Corrosão Sob Tensão .....	40
Figura 4.10 - Dano por corrosão .....	41
Figura 4.11 – Maresia.....	42
Figura 4.12 – Corrosão em postes .....	42
Figura 4.13- Corrosão em postes de concreto.....	44
Figura 4.14 - Poste fraturado pela ação da maresia .....	45
Figura 4.15 - Proteção Catódica .....	47
Figura 4.16 - Proteção Anódica .....	48
Figura 4.17 - Inibidores de corrosão .....	48
Figura 4.18 – Chapa de Aço ASTM A-36 .....	49
Figura 5.1- Avenida Litorânea em São Luís – MA .....	51
Figura 5.2 - Taxa de corrosão mensal.....	54
Figura 5.3 - Deterioração do Concreto Armado .....	55
Figura 5.4 - Danos à estrutura do concreto armado em postes da região litorânea de São Luís – MA.....	56
Figura 5.5 – Corrosão nas armaduras de concreto .....	57
Figura 5.6 - Container utilizado no estabelecimento Bora Bar .....	59
Figura 5.7 – Container Marítimo .....	59
Figura 5.8 – Processo de pintura do container .....	60
Figura 5.9 - Materiais do sistema de pulverização .....	67
Figura 5.10 - Medição e marcação no tubo PVC .....	68
Figura 5.11 - Corte no tubo com serra .....	68



Figura 5.12 - União colada com Tek Bond 793 no umidificador .....	69
Figura 5.13 - Sistema de pulverização completo (sem solução) .....	69
Figura 5.14 - Teste da pulverização do umidificador .....	70
Figura 5.15- Lâmpadas halógenas dispostas para o sistema de aquecimento .....	70
Figura 5.16 - Funcionamento das lâmpadas dentro da câmara .....	71
Figura 5.17- Gráfico da temperatura sendo estabilizada .....	73
Figura 5.18 - Temperatura estável em 35° C durante o teste .....	74
Figura 5.19 - Pequenas variações de temperatura pelo manuseio do equipamento .....	74
Figura 5.20 - Umidificador com marcações de nível de água no reservatório .....	75
Figura 5.21 - Marcações das velocidades da névoa do umidificador .....	76
Figura 5.22 – Fundo da câmara furo para saída da solução .....	77
Figura 5.23 - Mangueira para coleta da solução da câmara .....	77
Figura 5.24 - Galão de 6L para armazenagem do sistema de coleta .....	78
Figura 5.25 – Porta amostras .....	78
Figura 5.26 – Base Porta Amostras .....	79
Figura 5.27 – Placas de acrílico .....	79
Figura 5.28 - Montagem das placas para o teto da câmara .....	80
Figura 5.29 - Placas esquadradas para montagem .....	80
Figura 5.30 - Marcações para os furos que levam as dobradiças .....	80
Figura 5.31 - Utilização da rebidadeira .....	81
Figura 5.32 - Teto completo, com angulação referente à norma .....	81
Figura 5.33 - Puxador de acrílico da parte móvel do teto .....	82
Figura 5.34 - Vedação de parte do teto da câmara .....	82
Figura 5.35 - Medição do corpo de prova .....	84
Figura 5.36 – Solução de NaCl .....	84
Figura 5.37 – Cp's dentro da CNS .....	85
Figura 5.38 - CNS antes dos testes .....	86
Figura 5.39 - CNS durante os testes .....	86
Figura 6.1 - Corpo de prova corroído .....	88
Figura 6.2 - Corpo de prova pós limpeza .....	89
Figura 6.3 - Solução pós limpeza dos 12 cp's .....	89



## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1- Parâmetro de corrosividade .....	53
Tabela 5.2 - Temperatura inicial (ambiente) .....	72
Tabela 5.3 - Aumento de temperatura ao longo do tempo com aquecimento das lâmpadas .....	72
Tabela 5.4 - Estabilização da temperatura na faixa entre 34° C e 35° C .....	73
Tabela 5.5- Vazão do umidificador para diferentes marcações de velocidade .....	75
Tabela 5.6 - Condições de operação da câmara de névoa salina (ISO 9227) .....	76
Tabela 6.1 – Dimensão dos cp's .....	87
Tabela 6.2 - Perda de massa dos corpos de prova analisados.....	90



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
Cl-	Cloro
CNS	Câmara de Névoa Salina
CP	Corpo de prova
ISO	International Organization for Standardization
MgCl <sub>2</sub>	Cloreto de magnésio
µm	Micrômetro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
NACE	National Association of Corrossion Engineers
NaCl	Cloreto de sódio
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NONO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrogênio
s	Segundos
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
SO <sub>3</sub>	Trióxido de enxofre
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
W	Watt



## Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	32
2 JUSTIFICATIVA.....	33
3 OBJETIVOS.....	34
3.1 Objetivo Geral .....	34
3.2 Objetivos Específicos.....	34
4 REFERENCIAL TEÓRICO .....	35
4.1 Corrosão .....	35
4.2 Tipos de Corrosão .....	35
4.2.1 Uniforme .....	36
4.2.2 Galvânica.....	36
4.2.3 Em frestas.....	37
4.2.4 Por pites.....	37
4.2.5 Intergranular .....	38
4.2.6 Por lixívia-seletiva.....	38
4.2.7 Erosão-corrosão.....	39
4.2.8 Sob tensão .....	40
4.3 Problemas da corrosão .....	40
4.4 Maresia.....	41
4.5 Ensaio de Névoa salina.....	43
4.6 Corrosão no concreto .....	43
4.7 Métodos de combate e prevenção à corrosão .....	45
4.8 Tipo de metal.....	45
4.9 Revestimentos protetores .....	46
4.10 Medidas ambientais.....	46
4.11 Revestimentos sacrificiais .....	46
4.11.1 Proteção catódica.....	47
4.11.2 Proteção anódica.....	47
4.12 Inibidores de corrosão .....	48
4.13 Aço ASTM A-36.....	49
5 METODOLOGIA .....	51
5.1 Corrosividade por cloreto na região litorânea .....	51
5.2 Influência da corrosão imposta pelo cloreto em postes de concreto e estruturas metálicas	54



5.2.1 Vida útil e durabilidade do concreto .....	54
5.2.2 Deterioração das Estruturas de Concreto .....	55
5.2.3 Corrosão nas Armaduras .....	56
5.2.4 Corrosão nas estruturas metálicas de containers .....	58
5.3 Soluções tecnológicas para o aumento da resistência à corrosão dos materiais expostos à maresia .....	62
5.3.1 Estruturas de concreto .....	62
5.3.2 Estruturas metálicas.....	63
5.4 Construção da CNS .....	66
5.4.1 Materiais utilizados .....	66
5.4.2 Estrutura .....	66
5.4.3 Sistema de Pulverização.....	67
5.4.4 Sistema de Aquecimento.....	70
5.4.5 Reservatório e Pulverizador .....	74
5.4.6 Sistema de Coleta.....	77
5.4.7 Porta Amostra.....	78
5.4.8 Teto.....	79
5.5 Preparação dos corpos de provas dos materiais para a realização dos testes com o equipamento .....	83
5.5.1 Pré ensaio .....	83
5.5.1.1 Limpeza dos cp's.....	83
5.5.1.2 Medição dos cp's.....	83
5.5.1.3 Solução para o ensaio.....	84
5.5.1.4 Organização dos cp's.....	85
5.5.1.5 Ensaio.....	85
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	87
6.1 Dimensionamento dos cp's para o ensaio .....	87
6.2 Coleta dos dados pós ensaio.....	87
6.2.1 Verificação do consumo da solução e avaliação do processo de corrosão .....	87
6.2.2 Limpeza dos cp's pós ensaio para verificação da massa final .....	88
6.2.3 Cálculo da perda de massa por área para validação da CNS.....	90
7 CONCLUSÃO .....	92



8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	93
9 REFERÊNCIAS .....	94

## 1 INTRODUÇÃO

Pode se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos. Devido aos seus diversos tipos, esse processo está presente em diferentes situações, sempre associado à redução da vida útil de um determinado bem. Em regiões litorâneas, esse problema é ainda mais grave pela influência de inúmeros fatores, como por exemplo, a maresia (GENTIL, 2011).

Os ataques corrosivos podem ocorrer sob diferentes formas e, segundo a morfologia, os mais comuns nos metais são do tipo uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pite, intergranular, filiforme, gráfitica, dezincificação e por esfoliação (CSN, 2019).

A maresia é uma espécie de névoa carregada com sal provindo do mar, materiais expostos a esse ambiente corrosivo se deterioram ainda mais depressa que o normal, acabando com as propriedades originais de um material, fazendo com que o mesmo não consiga ser usado mais para sua função primordial e podendo até causar acidentes caso não consiga ser combatida a tempo.

Um dos objetivos desta pesquisa é desenvolver uma máquina que possa realizar testes através do ensaio de névoa salina (“*salt spray*”) – uma pulverização contínua de solução salina para corrosão acelerada – e avaliar a resistência à corrosão simulando a ação da maresia na região litorânea de cidade de São Luís – MA, através da verificação da perda de massa e testes mecânicos.

## **2 JUSTIFICATIVA**

Esse projeto de conclusão de curso tem uma grande importância ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão, pois isentará a instituição de gastos na compra de equipamentos comerciais e ainda ficará à disposição de alunos e professores para atender as pesquisas que envolvam o tema corrosão, além de ser um grande passo para montagem do primeiro Laboratório de Corrosão da mesma.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Desenvolver uma Câmara de Névoa Salina (CNS) para estudo e análise das influências da corrosão no colapso e deterioração das estruturas de concreto armado e estruturas metálicas através da diagnose das mudanças sofridas pelo material em contato direto com o ambiente de serviço, que com o passar do tempo, sem a devida correção pode acarretar danos maiores aos usuários e ao meio ambiente.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Mapear a corrosividade atmosférica por cloreto na região litorânea da cidade de São Luís – MA;
- Determinar a influência da corrosão imposta pelo cloreto em postes de concreto e estruturas metálicas;
- Propor soluções tecnológicas para aumentar a resistência à corrosão dos materiais expostos à maresia;
- Construção da Câmara de Névoa Salina para realização de testes;
- Verificar as alterações sofridas pelos materiais analisados quando expostos ao ambiente de teste;
- Comparar com os valores especificados pelas normas citadas, para verificar e validar o funcionamento do equipamento na realização dos ensaios.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Corrosão

De um modo geral, a corrosão é um processo resultante da ação do meio sobre um determinado material, causando sua deterioração. Quando se pensa em corrosão, a primeira associação que se faz é com a ferrugem (Figura 4.1), a camada de cor marrom-avermelhada que se forma em superfícies metálicas. Bom, apesar da estreita relação com os metais, esse fenômeno também ocorre em outros materiais, tais como concreto e polímeros orgânicos, dentre outros. Sem que se perceba, os processos corrosivos estão presentes direta ou indiretamente no nosso cotidiano (MERÇON, GUIMARÃES e MAINIER, 2004).



Figura 4.1 – Corrosão (FERNANDES, 2018)

Segundo Pannoni (2007), a energia é que leva os metais puros e suas ligas ao processo corrosivo. Tais processos consomem energia e é natural que as ligas metálicas, portanto, ao ficarem expostas em seus ambientes, revertam ao seu estado de origem, de menor energia.

### 4.2 Tipos de Corrosão

É conveniente classificar a corrosão de acordo com a maneira pela qual ela se manifesta. A corrosão metálica muitas vezes tem oito classificações, tais como: uniforme, galvânica, em frestas, por pites, intergranular, por lixívia-seletiva, erosão-corrosão e corrosão sob tensão (CALLISTER JR, 2016).

#### 4.2.1 Uniforme

Forma de corrosão eletroquímica que processa em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura. A corrosão uniforme é uma das mais fáceis de controlar, de ver, de proteger e também é a mais comum (Figura 4.2) (FERNANDES, 2017).



Figura 4.2 – Corrosão Uniforme (AMBIENTALI, 2018)

#### 4.2.2 Galvânica

A corrosão galvânica, também conhecida como corrosão bimetálica, é um processo eletroquímico que ocorre quando metais distintos entram em contato elétrico através de um mesmo eletrólito. Basicamente, um metal começa a corroer o outro (Figura 4.3).



Figura 4.3 - Corrosão Galvânica (FERNANDES, 2019)

Quando isso acontece, o metal mais nobre (polarizado catodicamente) começa a sofrer menos corrosão do que o normal. Em contrapartida, o metal menos nobre (polarizado anodicamente) começa a sofrer corrosão de forma mais acelerada que o normal – principalmente na região de junção com o metal mais nobre (GENTIL, 2011).

#### 4.2.3 Em frestas

Ocorre em função da diferença da concentração de íons ou gases dissolvidos na concentração eletrolítica entre duas regiões na mesma peça. A corrosão vai ocorrer na região que possui a menor concentração (FERNANDES, 2017).



Figura 4.4 - Corrosão em Frestas Fonte: (VIEIRA, 2014)

#### 4.2.4 Por pites

A corrosão se processa em regiões ou em áreas pequenas espalhadas ao longo da superfície metálica, produzindo pites, ou chamados também de cavidades (Figura 4.5) (CALLISTER JR, 2016).



Figura 4.5 - Corrosão por Pites (HALECK, 2016)

#### 4.2.5 Intergranular

É uma corrosão muito comum em aços inoxidáveis, quando os grãos vão se concentrando na região central, deixando as periféricas mais vulneráveis (Figura 4.6) (AMBIENTALI, 2018).

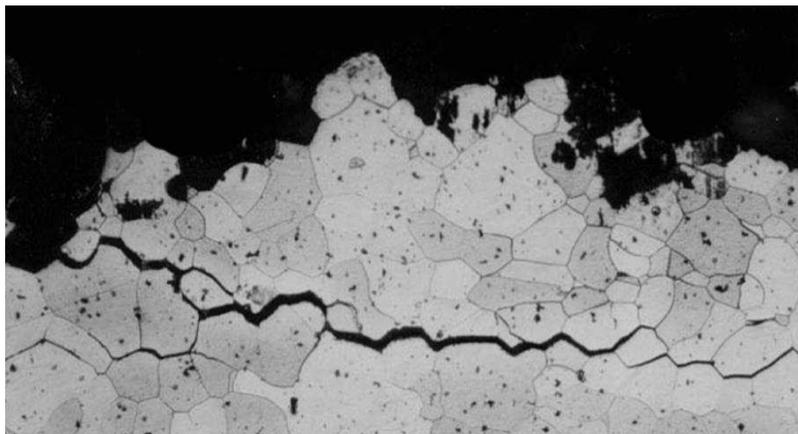


Figura 4.6 - Corrosão Intergranular (HALECK, 2016)

#### 4.2.6 Por lixívia-seletiva

Este tipo de corrosão é encontrada em ligas por solução sólida e ocorre quando um elemento ou constituinte é removido preferencialmente como consequência de processos de corrosão (Figura 4.7) (CALLISTER JR, 2016).



Figura 4.7 - Corrosão Seletiva (LOPES, 2011)

#### 4.2.7 Erosão-corrosão

Surge da ação combinada de um ataque químico e da abrasão ou desgaste mecânico causado pelo movimento de um fluido (Figura 4.8) (CALLISTER JR, 2016).



Figura 4.8 - Corrosão por Erosão (GEREMIA, 2016)

#### 4.2.8 Sob tensão

É um termo utilizado para descrever falhas de serviço em materiais. Ocorre por uma trinca de propagação lenta, induzida pelo ambiente de trabalho. A propagação das trincas é o resultado da sinérgica interação de tensões mecânicas e reações de corrosão (Figura 4.9) (GENTIL, 2011).



Figura 4.9 - Corrosão Sob Tensão (TORK, 2015)

### 4.3 Problemas da corrosão

Os problemas de corrosão são frequentes e assumem uma importância transcendental na vida moderna, ocorrendo nas mais variadas atividades, como, por exemplo, na construção civil, nas indústrias química, petrolífera, naval, automobilística, nos meios de transportes aéreo, ferroviário, metroviário, marítimo, rodoviário, na odontologia, na ortopedia, entre outros (Figura 4.10). Todas essas instalações representam investimentos vultosos que exigem durabilidade e resistência à corrosão que os justifiquem e que acidentes sejam evitados com danos materiais incalculáveis ou danos pessoais irreparáveis (GENTIL, 2011).



Figura 4.10 - Dano por corrosão (BRASIL, 2017)

Atrelado a isso, vem uma questão importantíssima: os custos da corrosão. Segundo Gentil com o avanço tecnológico mundialmente alcançado, esses custos se elevam, sendo uma coisa a se pensar já na fase de projetos. Esta importância pode ser considerada sob alguns aspectos básicos, principalmente o econômico, que envolve valores astronômicos e pelos mesmos custos que envolvem outros aspectos como a conservação de reservas minerais e consumo energético (GENTIL, 2011).

#### **4.4 Maresia**

Uma névoa fina e úmida que às vezes paira sobre as cidades do litoral, flutuando ao longo da costa, este é o conceito básico de maresia (Figura 4.11). Esta névoa é formada por bilhões e bilhões de gotículas de água do mar, que sobem ao ar toda vez que uma onda arrebenta na praia. O problema é que as gotículas não são de água pura e por causa da ação do vento e de outras condições ambientais, as partículas de água do mar se espalham, entrando em contato com objetos metálicos que são corroídos. Esse processo é acelerado pela presença dos íons na água do mar e nos evaporitos, que são micropartículas presentes no ar que apresentam sais. Esses íons fazem uma ponte salina, o que possibilita o fenômeno de oxirredução entre o oxigênio do ar e os metais e, por conta dessas impurezas, a maresia ataca os materiais expostos, corroendo-os de forma acelerada.



Figura 4.11 – Maresia (GILLARD, 2015)

No ponto de vista econômico, os prejuízos causados pela maresia atingem valores altíssimos. Para se ter uma ideia, a vida útil normal de um poste é entre 20 a 30 anos, mas em regiões litorâneas este período é reduzido para apenas cinco anos (Figura 4.12). Sem contar que o fenômeno da natureza enferruja carros, emperra portões e racha vigas de concreto, é um verdadeiro desperdício de material.

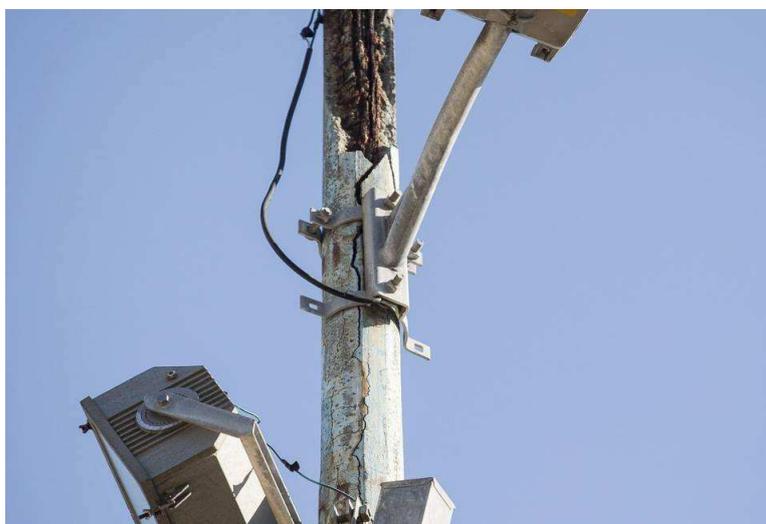


Figura 4.12 – Corrosão em postes (PAULA, 2016)

#### **4.5 Ensaio de Névoa salina**

Esse ensaio de corrosão acelerada tem como propósito duplicar em laboratório o desempenho perante corrosão em campo de um produto, proporcionando aos cientistas e engenheiros formas rápidas de se desenvolver novos produtos. Durante anos, esse ensaio teve ampla utilização por pesquisadores para se avaliar novos revestimentos metálicos, pinturas inovadoras de revestimentos, e também para avaliar diversos tipos de tratamentos químicos e pré tratamentos de pintura para utilização em chapas de aço com revestimento metálico.

O ensaio é realizado com uma solução aquosa, num volume de água destilada ou desmineralizada com, aproximadamente, 5% de NaCl, para a obtenção de 1 litro de solução, à temperatura ambiente. Os corpos de prova planos devem ser dispostos somente na zona da câmara de ensaio na angulação de 15° a 30° com a vertical e o posicionamento deve ser preferencialmente, paralelo ao fluxo horizontal da névoa salina. A temperatura no interior da câmara deve ser mantida em  $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$  e deve ser observada com frequência para que sejam observadas todas as oscilações possíveis na zona de exposição da câmara de ensaio. Para a obtenção dos resultados, os cp's devem ser secados para, imediatamente, ser efetuada uma cuidadosa avaliação quanto à extensão da corrosão e de outras falhas, conforme estabelecido pelas especificações apropriadas.

#### **4.6 Corrosão no concreto**

Estruturas de concreto armado construídas em regiões litorâneas, como postes de distribuição de energia elétrica, são, constantemente, atacadas por agentes ambientais agressivos. O cloreto é conhecido como um dos mais agressivos dentre os agentes ambientais, causando corrosão da armadura de aço e conseqüente degradação do concreto. Os cloretos podem alcançar a armadura de aço através da rede de poros do concreto e atacar toda a superfície da armadura (Figura 4.13).



Figura 4.13- Corrosão em postes de concreto (MAIS, 2017)

Dentre os ambientes naturais não poluídos, o mais agressivo, no que diz respeito à corrosão, é a atmosfera marinha. Regiões litorâneas, justamente por sua proximidade com o mar, são locais onde a construção de estruturas de concreto armado deve ser cuidadosamente planejada. Esta preocupação deve-se, principalmente, à presença de sais corrosivos, tanto na água do mar quanto na atmosfera circundante (spray marinho). Os mais agressivos destes sais são aqueles à base de cloretos (KOPSCH, 2001). Na prática, uma das maiores dificuldades em se prever a vida útil de uma estrutura é justamente a variabilidade deste ambiente, que é mutável, permitindo que esta vida útil só possa ser estimada.

A deterioração de estruturas de concreto e artefatos pré-moldados de concreto armado devido à corrosão de armaduras desperta maior preocupação em zonas costeiras, onde se encontra maior concentração de agentes agressivos devido à presença de cloretos (Cl<sup>-</sup>). Algumas destas estruturas são prematuramente deterioradas, a ponto de perderem sua função estrutural em cerca de um décimo do tempo recomendado pelas normas correspondentes (Figura 4.14) (JOUKOSKI, 2011).



Figura 4.14 - Poste fraturado pela ação da maresia (RAIYLSO, 2017)

#### **4.7 Métodos de combate e prevenção à corrosão**

Pode-se evitar a corrosão fazendo uma análise e selecionando corretamente o tipo de metal, revestimento protetor, medidas ambientais, revestimentos sacrificais, inibidores de corrosão, dentre outros.

#### **4.8 Tipo de metal**

Uma maneira simples de prevenir a corrosão é usar um metal resistente à corrosão, como alumínio ou aço inoxidável. Dependendo da aplicação, esses metais podem ser usados para reduzir a necessidade de proteção adicional contra corrosão.

#### **4.9 Revestimentos protetores**

A aplicação de um revestimento de tinta é uma maneira econômica de evitar a corrosão. Os revestimentos de tinta atuam como uma barreira para impedir a transferência da carga eletroquímica da solução corrosiva para o metal embaixo.

#### **4.10 Medidas ambientais**

A corrosão é causada por uma reação química entre o metal e os gases no ambiente circundante. Ao tomar medidas para controlar o meio ambiente, essas reações indesejáveis podem ser minimizadas. Isso pode ser tão simples quanto reduzir a exposição à chuva ou à água do mar ou medidas mais complexas, como controlar as quantidades de enxofre, cloro ou oxigênio no ambiente ao redor. Um exemplo disso seria tratar a água em caldeiras contendo água e amaciantes para ajustar a dureza, alcalinidade ou teor de oxigênio.

#### **4.11 Revestimentos sacrificiais**

O revestimento de sacrifício envolve o revestimento do metal com um tipo de metal adicional com maior probabilidade de oxidação; daí o termo “revestimento sacrificial”.

Existem duas técnicas principais para alcançar o revestimento de sacrifício: proteção catódica e proteção anódica.

#### 4.11.1 Proteção catódica

Envolve simplesmente o suprimento, a partir de uma fonte externa, de elétrons para o metal a ser protegido, tornando-o um catodo, sendo assim, a reação anterior é forçada a seguir na direção inversa, ou de redução (Figura 4.15).

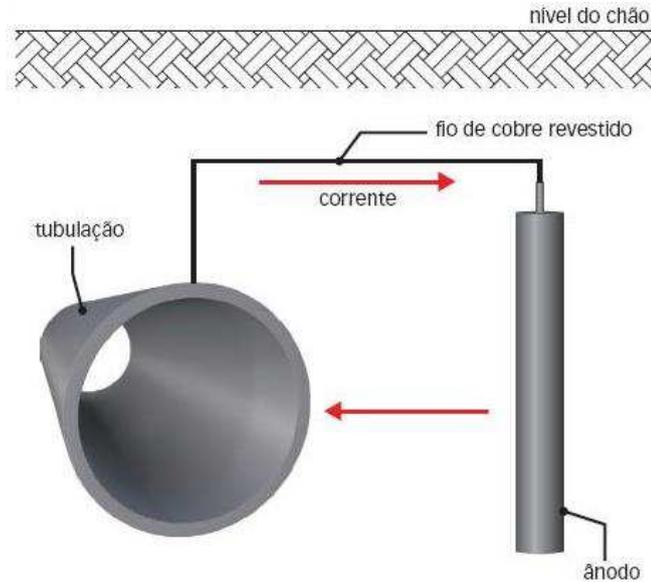


Figura 4.15 - Proteção Catódica (CORSINI, 2011)

#### 4.11.2 Proteção anódica

Envolve revestir o aço de liga de ferro com um metal menos ativo, como o estanho. O estanho não irá corroer, de modo que o aço ficará protegido enquanto o revestimento de estanho estiver no lugar. Este método é conhecido como proteção anódica porque faz do aço o anodo de uma célula eletroquímica (Figura 4.16).

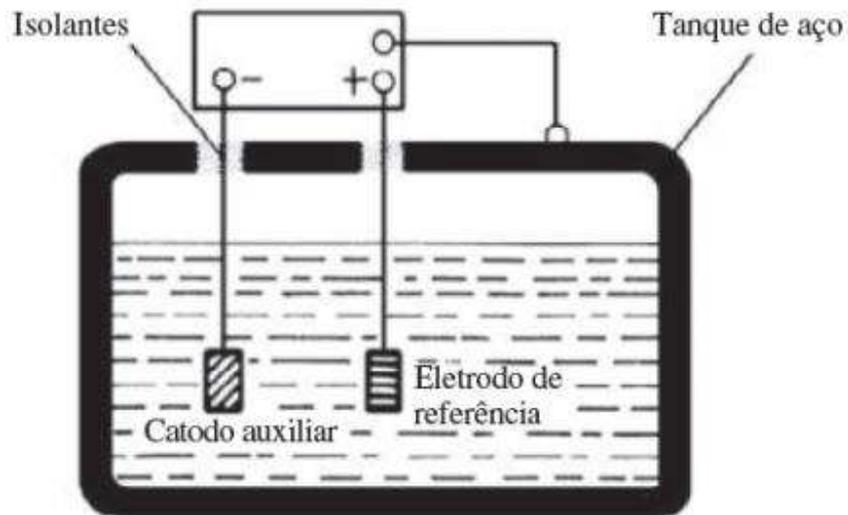


Figura 4.16 - Proteção Anódica (NUNES, 2016)

#### 4.12 Inibidores de corrosão

São produtos químicos que reagem com a superfície do metal ou os gases circundantes para suprimir as reações eletroquímicas que levam à corrosão. Eles funcionam sendo aplicados na superfície de um metal, onde formam uma película protetora e podem ser aplicados como uma solução ou como um revestimento protetor usando técnicas de dispersão (Kopsch, 2001) (Figura 4.17).



Figura 4.17 - Inibidores de corrosão (NAKAMURA e FARIA, 2013)

#### 4.13 Aço ASTM A-36

O aço ASTM A-36 (Figura 4.18) é a exemplificação mais clássica de um aço estrutural de grãos finos (COLPAERT, 2008). É um aço ferrítico de baixa liga e baixo carbono ligados ao manganês, com teores de fósforo e enxofre controlados, alta resistência e baixa liga (ARBL), utilizado em partes estruturais quando a economia em peso é importante. Atende a solicitações de tenacidade até  $-40^{\circ}\text{C}$  para navegação em regiões frias, ou em temperaturas mais baixas mediante consulta e autorização da classificadora.



Figura 4.18 – Chapa de Aço ASTM A-36 (PASIFER, 2016)

Rodrigues (2009) afirma que os aços estruturais navais apresentam boa tenacidade e soldabilidade. Eles são aplicados em navios de médio e grande porte e em plataformas marítimas de extração de petróleo. Os aços navais são especificados principalmente pelas entidades classificadoras para construção naval. As principais são:

- BV - Bureau Veritas,
- ABS - American Bureau of Shipping,
- NKK - Nippon Kaiji Kyokai,
- LR - Lloyd's Register,
- GL - Germanischer Lloyd e

- DNV - Det Norske Veritas.

Esses tipos de aços são muito importantes na indústria da construção por vários motivos, dentre eles a alta resistência mecânica e a capacidade de suportarem grandes carregamentos.

Sua maior utilização no Brasil é nas estruturas de concreto armado. Como o concreto tem alta resistência à compressão, o aço inserido dentro da estrutura atua como boa resistência à tração. Além de ter boa aderência com o concreto, o aço ainda tem deformações compatíveis como o material (CEARENSE, 2017).

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Corrosividade por cloreto na região litorânea

Geralmente, os problemas que são causados pela corrosão são agravados de acordo com o ambiente em que estão expostos. Segundo a Bidetti et al. (2011), os fatores naturais que influenciam a ação corrosiva da atmosfera são três: a temperatura, a chuva e o vento. As variações de temperatura entre o material metálico e a atmosfera (insolação) alteram o grau de molhamento e o tempo de secagem da superfície.

Conforme Filho et al. (2018), a cidade de São Luís – MA se encontra em um cenário bastante propício para ocorrência desse efeito, por ter um clima tropical, com altas temperaturas e elevado índice de umidade relativa, assim como por sua localização litorânea, que favorece o ataque da névoa marinha sobre estruturas metálicas (Figura 5.1). Além disso, esse efeito pode ser potencializado em alguns pontos da cidade por causa da presença de agentes corrosivos na zona industrial. Já Gentil (2011), afirma que se a temperatura for elevada, irá diminuir a possibilidade de condensação de vapor d'água na superfície metálica e a adsorção de gases, minimizando a possibilidade de corrosão.

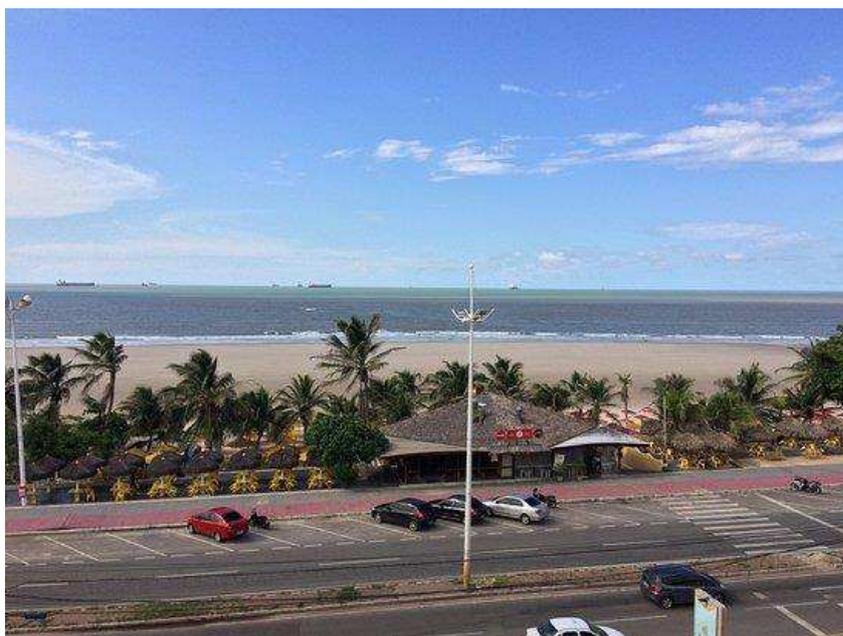


Figura 5.1- Avenida Litorânea em São Luís – MA (TRIPADVISOR, 2017)

Outra condição que também é analisada é chuva, pois a mesma é responsável pelo efeito corrosivo em estruturas metálicas e concreto. Evangelista et al. (2006) assegura que a água da chuva é uma combinação de composição química das gotículas que formam as nuvens e das substâncias presentes na atmosfera, que se incorporam às gotas de chuva durante a precipitação.

Sampaio (2014) certifica que os gases poluentes comumente encontrados são o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>), óxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), sendo o primeiro e o último os mais abundantes. Pontes (2006) declara que avaliando ainda a climatologia do cenário, destaca-se que o vento contribui bastante para corrosão, principalmente quando se trata de regiões litorâneas, pois, através dele, os aerossóis marinhos transportam o cloreto, sendo depositado sobre as estruturas.

A cidade de São Luís do Maranhão, na ilha de Upaon-Açu, está localizada a latitude: 2 ° 31' 47S, Longitude: 44 ° 18'10'' W banhada pelo oceano Atlântico, que possui uma atmosfera bem diversificada, propícia aos efeitos corrosivos, principalmente por seu posicionamento geográfico. O clima tropical úmido com altas temperaturas durante o ano inteiro somado à ação direta da névoa marinha por sua região litorânea e elevada taxa de umidade relativa contribuem para uma atmosfera de grande potencial corrosivo.

Contribuindo para este ambiente favorável ao processo de corrosão, há uma série de particularidades, além das já citadas, que condicionam esse alto desgaste, como por exemplo: ventos com elevadas velocidades, ação intensiva das chuvas durante o primeiro semestre do ano e a presença de uma zona industrializada.

Diante desses fatores, a corrosividade pode ser definida de acordo com a norma NACE-RP-07-75 que é determinada em função da taxa de corrosão em milímetros por ano. Essa norma determina a classificação de acordo com a Tabela 5.1 a seguir:

Tabela 5.1- Parâmetro de corrosividade

Taxa de corrosão uniforme (mm/autor)	Taxa de pite (mm/ano)	Corrosividade
<0,025	<0,13	Baixa
0,025 a 0,12	0,13 a 0,2	Moderada
0,13 a 0,25	0,21 a 0,38	Alta
>0,25	>0,38	Severa

Fonte: NACE-RP-07-75, 1984

Conforme os dados coletados por Filho et. al (2018) em suas pesquisas e de acordo com a Tabela 5.1, a massa do corpo de prova de aço carbono foi de 104,5065g enquanto o de aço galvanizado foi de 113,6462g, após seis meses de exposição os mesmos tiveram como resultado para o aço carbono 101,6158g e para o aço galvanizado 113,4117g.

Foi-se calculada a taxa de corrosão segundo a NACE de acordo com a Equação 5.1 abaixo:

$$T = \frac{\text{perda de peso (g)} \times 365 \times 1000}{S \times t \times d} \quad (\text{Equação 5.1})$$

T: taxa de corrosão (mm/ano)

S: área exposta da superfície do cupom (mm<sup>2</sup>)

t: tempo

d: densidade (g/cm<sup>3</sup>)

Logo, encontrou-se uma taxa de corrosão de 0,05g para aço carbono e 0,018 para aço galvanizado verificando sua variação durante os meses pelo Gráfico da Figura 5.2 a seguir:

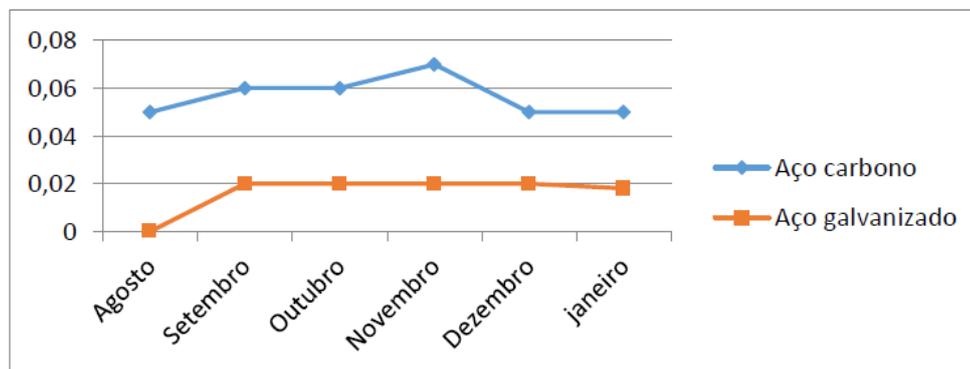


Figura 5.2 - Taxa de corrosão mensal (FILHO, TOGAWA e CANTANHEDE, 2018)

Conforme demonstrado, pode-se concluir que em São Luís a taxa de corrosão para o aço carbono se classifica como moderada, pois, através dos cálculos, se obtém como resultado o valor de 0,05 mm/ano e para o aço galvanizado encontra-se o valor de 0,018 mm/ano que tem como classificação uma corrosividade baixa.

## 5.2 Influência da corrosão imposta pelo cloreto em postes de concreto e estruturas metálicas

### 5.2.1 Vida útil e durabilidade do concreto

A durabilidade do concreto pode ser definida como a capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração e também a capacidade que a estrutura possui de manter suas características estruturais e funcionais originais (Freire, 2005).

Então, compreende-se que tal durabilidade irá depender de alguns fatores, como mostra Ribeiro (2014), bem como a agressividade ambiental (Figura 5.3), características da construção, critérios de desempenho desejados e do tempo, resumindo, da vida útil requerida para uma determinada estrutura. Numa correlação, pode-se afirmar que a vida útil está para a durabilidade bem como a resistência do concreto está para o projeto estrutural.



Figura 5.3 - Deterioração do Concreto Armado (VLADIMIROVICH, 2017)

A NBR 6118:2014 (“Projeto de estruturas de concreto — Procedimento”) estabelece a vida útil de projeto como sendo o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas.

Ribeiro (2014) afirma que a durabilidade tem sido uma das exigências do usuário menos atendidas, e não é simplesmente uma característica do material ou componente utilizado, mas, o resultado da interação de um material ou componente com o ambiente que está inserido.

### 5.2.2 Deterioração das Estruturas de Concreto

Aço e concreto combinados vêm tornando o concreto armado um dos materiais mais populares do mundo, pois junta a elevada resistência à tração e flexão do aço com a elevada resistência à compressão axial do concreto.

Encontram-se várias causas de danificação dessas estruturas (Figura 5.4), bem como a corrosão das barras de reforço devido a diversos fatores, tais como carbonatação ou entrada de cloretos, ataque por sulfatos, reação álcali-agregado, etc.



Figura 5.4 - Danos à estrutura do concreto armado em postes da região litorânea de São Luís – MA (Autor, 2019)

O impacto econômico do problema da durabilidade conduz a uma pesquisa extensiva de duas décadas e tem iniciado os caminhos para a produção de melhores e mais duráveis concretos ou estruturas de concreto reforçadas, afirma Santos (2016).

### 5.2.3 Corrosão nas Armaduras

Quando agentes oxidantes como o oxigênio e o hidrogênio entram em contato com a superfície do metal, os mesmos passam a receber seus elétrons, levando a armadura a ter comportamento de uma pilha eletrolítica. Daí ocorre à corrosão nas armaduras de concreto, também conhecido como processo eletroquímico (Figura 5.5).



Figura 5.5 – Corrosão nas armaduras de concreto (TECNOSIL, 2018)

Sousa (2014) declara que os elétrons consumidos na reação de redução, que ocorre no cátodo, são fornecidos pela reação de oxidação do metal, que ocorre no ânodo, sendo estes transferidos para o cátodo através da armadura, que atua como um eletrodo (material no qual ocorre a transferência de elétrons). A maioria dos metais é corroída de algum modo por efeito da água e da atmosfera.

Como falado anteriormente, as armaduras podem sofrer vários tipos de corrosão, dentre os quais podemos citar:

- Corrosão uniforme
- Corrosão por pite
- Corrosão intragranular
- Corrosão transgranular
- Fragilização pelo hidrogênio

As quatro últimas formas de corrosão são gravíssimas quando existe ação conjunta de solicitação mecânica e meio corrosivo, por motivos de ocasionarem a corrosão sob tensão fraturante, podendo provocar a ruptura da armadura do concreto. A menos prejudicial é a uniforme, pois se apresenta distribuída em toda a extensão da barra de aço e quase nunca traz graves consequências (Ribeiro 2010).

O mecanismo da corrosão da armadura é uma manifestação específica da corrosão eletroquímica em meio aquoso, porém o eletrólito confinado a uma rede de poros existentes no concreto possui resistividade elétrica bem mais elevada do que a verificada nos eletrólitos típicos ou comuns. Daí o mecanismo da corrosão do aço, no concreto, só se desenvolve em presença de água ou ambiente com umidade relativa elevada (U.R. > 60%). Não há corrosão em concretos secos (ausência de eletrólito) e tampouco em concreto totalmente saturado, devido não haver suficiente acesso de oxigênio (Ribeiro, 2010).

#### 5.2.4 Corrosão nas estruturas metálicas de containers

A região da Avenida Litorânea de São Luís – Maranhão é um dos pontos turísticos e de lazer mais conhecidos da cidade. Além de aproveitar a própria natureza da praia, encontram-se várias opções de entretenimento em diversos estabelecimentos comerciais como bares, restaurantes e até casas de festas.

Devido à influência corrosiva do ambiente litorâneo, causado em grande parte pela maresia, grande parte destes estabelecimentos já é construída de materiais como a madeira, com maior resistência à corrosão. Porém, a praticidade de se reutilizar de containers marítimos na construção civil fez com que houvesse uma popularização destes na confecção de estabelecimentos comerciais.

Neste trabalho, o foco será analisar e combater a corrosão sofrida na estrutura metálica de containers encontrados na região litorânea de São Luís, mais especificamente os utilizados em estabelecimentos comerciais como o Bora Bar (Figura 5.6), popular local de entretenimento da região. Após entrar em contato com um dos proprietários, foram fornecidas diversas características sobre o tipo de container utilizado, tanto estruturais quanto na manutenção ao longo do tempo.



Figura 5.6 - Container utilizado no estabelecimento Bora Bar (Autor, 2019)

Os containers marítimos são estruturas feitas de aço e que cumprem padrões estabelecidos pelas leis que regem o transporte marítimo. Esse material é escolhido justamente por conta da sua durabilidade. Existem diversos tipos de containers e todos eles são considerados resistentes, para que possam ser utilizados para armazenar qualquer tipo de carga (ABARUTTI, 2018). Alguns exemplos que podem ser citados são: Dry Cargo, High Cube, Refeer, Tanque, Isolantes e Refrigerados (Figura 5.7 e Figura 5.8).



Figura 5.7 – Container Marítimo (MARÍTIMOS, 2017)



Figura 5.8 – Processo de pintura do container (XAVIER, 2015)

O Container do tipo Dry Cargo é aquele destinado ao transporte de carga seca. A maioria dos exemplares são moldados em aço. Há, entretanto, modelos feitos de alumínio. O container conta com apenas duas portas para a carga e descarga de produtos e caracteriza-se pela extrema resistência à água (ABARUTTI, 2018). O tipo Dry Cargo pode assumir duas formas distintas devido às medidas podendo ser padrão de 20 pés (6.058m x 2.438m x 2.591m e capacidade de carga de 21.780 kg) ou de 40 pés (12.035m x 2.350m x 2.690m e capacidade de carga de 28.800 kg).

Algumas empresas já compram o container marítimo personalizado e pronto para aplicação comercial de um determinado serviço. Outras, como no caso do Bora Bar, compram-no completo e fazem suas próprias alterações. De acordo com as informações recebidas, o proprietário adquiriu 5 containers do tipo Dry Cargo de 40 pés e 1 Dry Cargo de 20 pés, precisando trocar algumas partes da estrutura por já estarem bastante danificadas.

O material base dos containers marítimos é o aço COR-TEN. Este aço, também chamado aço patinável (ASTM-A 242 ou ASTM-A 588, ambos podendo ser utilizados na sua confecção), recebe este nome devido à abreviação em inglês de “*corrosion resistance*” (resistência à corrosão) e “*tensile strength*” (resistência à tração) sendo mais resistente à corrosão que um aço comum. Sua principal característica é a camada de óxido de cor avermelhada que se forma quando ocorre exposição à agentes corrosivos do ambiente.

Essa maior resistência se deve ao fato de que durante o período inicial de corrosão atmosférica há formação de ferrugem e, ao contrário do aço-carbono, essa ferrugem tende, após algum tempo, a se estabilizar: o filme de óxido é muito denso, e nem a água nem o oxigênio podem atravessá-lo, cessando, portanto, a corrosão do aço. (GENTIL, 2011)

Em condições menos agressivas do meio ambiente, sem ação da névoa salina, por exemplo, não há a necessidade de pintura de proteção corrosiva neste tipo de material, a camada de óxido se faz suficiente no aumento da resistência corrosiva. Porém, segundo Gentil, em atmosferas marinhas, com incidência direta da névoa salina sobre o aço, a alta umidade e os teores elevados de sais (como cloreto de sódio e cloreto de magnésio) não permitem a estabilização dos aços, obrigando neste caso a pintura dos mesmos para uma duração mais prolongada.

A camada protetora se forma quando os materiais estiverem expostos alternadamente a períodos de umidade e de secagem. Em ambientes de névoa salina, juntamente com o cloreto de sódio, a absorção de umidade atmosférica desse sal deliquescente faz com que a superfície metálica se mantenha sempre úmida e conseqüentemente sujeita à corrosão. Assim o aço patinável acaba perdendo sua resistência característica.

De acordo com o proprietário do estabelecimento em questão, houveram algumas alterações na estrutura devido ao tempo de uso do container antes de ser reutilizado para uma construção civil. Algumas dessas alterações podem ser observadas em janelas e portas que são reforçadas com chapas e metalons galvanizados.

As chapas galvanizadas são um tipo de aço em chapa que passaram pelo processo de galvanização, onde estes recebem um revestimento de zinco a fim de melhorar a proteção contra a corrosão. Porém, assim como no exemplo anterior, quando submetidas a atmosferas marinhas agressivas de umidade elevada, há uma redução na película protetora formada contra a corrosão do material, sendo também necessária a utilização de tintas especiais.

### **5.3 Soluções tecnológicas para o aumento da resistência à corrosão dos materiais expostos à maresia**

#### 5.3.1 Estruturas de concreto

No que diz respeito aos mecanismos de envelhecimento e deterioração, a NBR 6118:2014 (“Projeto de estruturas de concreto — Procedimento”), em suas versões mais atuais, tem apresentado descrições cada vez mais detalhadas, dividindo os mecanismos em três grandes classes.

a) Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto:

- Lixiviação

É o mecanismo responsável por dissolver e carrear os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras.

Para prevenir sua ocorrência, recomenda-se restringir a fissuração, de forma a minimizar a infiltração de água e proteger as superfícies expostas com produtos específicos, como os hidrófugos.

- Expansão por sulfato

É a expansão por ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado.

A prevenção pode ser feita pelo uso de cimento resistente a sulfatos, conforme ABNT NBR 5737:1992 (“Cimentos Portland resistentes a sulfatos”).

- Reação álcali-agregado

É a expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e agregados reativos.

O projetista deve identificar no projeto o tipo de elemento estrutural e sua situação quanto à presença de água, bem como deve recomendar as medidas preventivas, quando necessárias, de acordo com a ABNT NBR 15577-1:2008 (“Agregados – Reatividade álcali-”).

agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto”).

b) Mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura:

- Despassivação por carbonatação

É a despassivação por carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura.

As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. O cobrimento das armaduras e o controle da fissuração inimizam este efeito, sendo recomendável um concreto de baixa porosidade.

- Despassivação por ação de cloretos

Consiste na ruptura local da camada de passivação, causada por elevado teor de íon-cloro.

As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. O cobrimento das armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendável o uso de um concreto de pequena porosidade. O uso de cimento composto com adição de escória ou material pozolânico é também recomendável nestes casos.

### 5.3.2 Estruturas metálicas

A escolha certa dos materiais para ambientes expostos à maresia é o primeiro passo no combate à corrosão de estruturas. Porém, enquanto houver oxigênio e água o metal estará sujeito ao processo corrosivo, sendo necessárias às vezes algumas medidas extras para desacelerar ou evitar este problema.

Visto que nem mesmo aços como os patináveis ou galvanizados conseguem contar apenas com suas próprias características para conservação uma vez que em ambientes sujeitos à grande umidade e névoa salina a formação da sua película protetora é inutilizada, a seguir

serão discutidas medidas e possíveis soluções para combater a corrosão dos materiais analisados expostos à atmosfera da região litorânea.

Pela grande presença de íons de cloreto presentes na atmosfera salina litorânea, a capacidade de absorção de umidade é um grande problema uma vez que estes estão dispostos nas superfícies metálicas. Quanto menor for a disponibilidade de água parada na estrutura, menor a chance de acelerar o processo corrosivo.

Além disso, para manutenção do container e dos materiais do qual é feito, costuma-se aplicar uma tinta especial com propriedades anticorrosivas na superfície que, no caso daqueles expostos à forte influência da maresia, não contam com sua película protetora. No estabelecimento comercial do Bora Bar, por exemplo, há uma pintura de 6 em 6 meses com tinta esmalte sintético que possui um alto nível de manuseio e resistência, não sendo solúvel em água e também podendo passar zarcão, servindo de fundo protetor com função anticorrosiva, permitindo a aplicação de diversos acabamentos. De acordo com o proprietário, a tinta esmalte sintético é preferível à tinta epóxi nessa manutenção devido ao preço da mesma.

A tinta epóxi apresenta grande qualidade e espessura, resistindo a variações de temperaturas e à abrasão, possuindo também ótima aderência a diversos tipos de superfícies, sendo assim mais recomendado que a tinta esmalte sintético.

A proteção anticorrosiva realizada à base de tintas segue, geralmente, um esquema de pintura por 3 tipos de tintas: tinta de fundo ou primária (primer), tinta intermediária e tinta de acabamento. Dependendo dos constituintes das tintas, propriedades, aplicações entre outros, alguns fatores são levados em consideração na escolha da melhor tinta.

Segundo Gentil (2011), para atmosferas industriais e marinhas de elevada agressividade, recomenda-se a utilização de tintas que exerçam um mecanismo de proteção adicional ao de barreira, como é o caso das tintas ricas em zinco. Primeiro há a preparação da superfície realizando-se desgorduramento e jateamento abrasivo até o grau de limpeza mínimo; uma demão de tinta de fundo rica em zinco à base de silicato de etila, com espessura seca de 65 a 75  $\mu\text{m}$ , podendo ser substituída por uma epóxi rica em zinco curada com poliamida e

espessura de 70 a 80  $\mu\text{m}$  caso as estruturas sejam geometricamente complexas (muitos cantos vivos, frestas e possibilidade de acúmulo de tinta); na tinta intermediária uma demão de epóxi curada com poliamida, com espessura seca de 45 a 55  $\mu\text{m}$ ; tinta de acabamento sendo duas demãos de poliuretano acrílico alifático, com espessura seca mínima de 50  $\mu\text{m}$  por demão, sendo possível utilizar como alternativa mais econômica duas demãos de tinta de acabamento epóxi curada com poliamida, com espessura seca mínima de 50  $\mu\text{m}$  por demão, caso o revestimento não esteja sujeito à incidência de radiação solar.

No caso de superfícies galvanizadas, depende-se tanto do condicionamento em que a superfície se encontra e a especificação correta dos esquemas de pintura. Gentil (2011) relata que, para um estado novo do revestimento de zinco, recomenda-se que haja o desgorduramento por meio de solventes adequados seguido de jateamento abrasivo ligeiro (sendo realizado com cuidado para que não ocorra a remoção substancial do revestimento de zinco); e a aplicação de uma demão de tinta condicionadora de aderência epóxi-isocianato com espessura seca de 15-20  $\mu\text{m}$ .

No caso do aço galvanizado envelhecido e com presença de produtos de corrosão branca do zinco, pode-se utilizar o mesmo condicionamento anterior, porém pode-se substituir o jateamento abrasivo ligeiro por escovamento manual ou mecânico da superfície, para remoção de produtos de corrosão não aderentes, desde que não se promova qualquer tipo de polimento à superfície. Antes da aplicação da tinta de aderência é aconselhável fazer uma nova limpeza com solventes para a remoção de quaisquer vestígios de óleos ou graxas. (GENTIL, 2011)

Todos estes processos de pintura podem ser precedidos de uma certa preparação da superfície a ser trabalhada, dependendo estado de conservação em que se encontra. Como alguns exemplos já citaram, jateamentos, limpezas com solventes e até escovamento ou lixamento de algumas determinadas áreas, constituem a sequência da manutenção do container, garantindo e aumentando sua vida útil em relação ao ataque corrosivo da região em que se encontra.

## 5.4 Construção da CNS

### 5.4.1 Materiais utilizados

Consideramos a câmara e seus sistemas da seguinte forma:

- Estrutura da câmara de névoa salina: 5 placas de vidro, silicone e fita plástica Scotch;
- Sistema de aquecimento: 2 bocais de cerâmica, 2 lâmpadas Empalux Halógenas Classic de 100 W, 3 m de fio condutor antichamas com bitola de 1,5 mm<sup>2</sup>, 1 m de calha de PVC e um controlador de temperatura Termopar tipo K;
- Sistema para pulverização: 1 tubo de PVC de 3/4", 2 uniões de 25 mm x 3/4", um joelho de 25 mm e um umidificador de ar ultrassônico Incoterm UMD100;
- Sistema de coleta da solução pulverizada: 1 mangueira de silicone de 3/4", 1 galão de 6 L;
- Porta amostras: Madeira e MDF;
- Teto da câmara: 2 chapas triangulares e 2 retangulares de acrílico, tek bond 793, 2 dobradiças e rebites.

### 5.4.2 Estrutura

A estrutura da CNS foi feita com cinco placas de vidro de 400,00 mm x 400,00 mm x 4,77 mm, sendo fixadas com silicone. Este valor foi escolhido com base em medidas já testadas em outros trabalhos de construção deste tipo, como encontrado em Rodrigues (2017).

### 5.4.3 Sistema de Pulverização

Para esse sistema, foi feito um furo central de 40 mm numa face da câmara, na qual será colocado um tubo de PVC de 3/4" com aproximadamente 400 mm de comprimento entre duas uniões de 25 mm x 3/4", e um joelho de 25 mm, que farão a conexão entre a solução pulverizada e a câmara.

Como citado anteriormente, para esse sistema foram utilizados os seguintes materiais, representados na Figura 5.9:



Figura 5.9 - Materiais do sistema de pulverização (Autor, 2019)

Foi feita a medida em 400 mm no tubo de PVC e depois o corte com a serra (Figura 5.10 e Figura 5.11).



Figura 5.10 - Medição e marcação no tubo PVC (Autor, 2019)



Figura 5.11 - Corte no tubo com serra (Autor, 2019)

A união soldável foi fixada com Tek bond 93 (Figura 5.12) no umidificador como listado anteriormente e esperou-se secar totalmente pra fazer o teste.



Figura 5.12 - União colada com Tek Bond 793 no umidificador (Autor, 2019)



Figura 5.13 - Sistema de pulverização completo (sem solução) (Autor, 2019)

Como mostrado nas Figura 5.13 e Figura 5.14, o sistema de pulverização foi finalizado e testado afim de não haver nenhum vazamento.



Figura 5.14 - Teste da pulverização do umidificador (Autor, 2019)

#### 5.4.4 Sistema de Aquecimento

Foram feitos outros dois furos, também de 40 mm de diâmetro, em faces opostas da câmara para a fixação dos bocais de cerâmica, utilizando silicone, nos quais foram colocadas as 2 lâmpadas halógenas de 100 W (Figura 5.15).



Figura 5.15- Lâmpadas halógenas dispostas para o sistema de aquecimento (Autor, 2019)

O fio condutor antichamas com bitola de 1,5 mm<sup>2</sup> foi encaminhado dentro de calhas de PVC, contornando a câmara até chegar às lâmpadas halógenas de 100 W, que foram ligadas em tomadas de 220 V e que funcionarão como dispositivos de aquecimento da CNS (Figura 5.16).

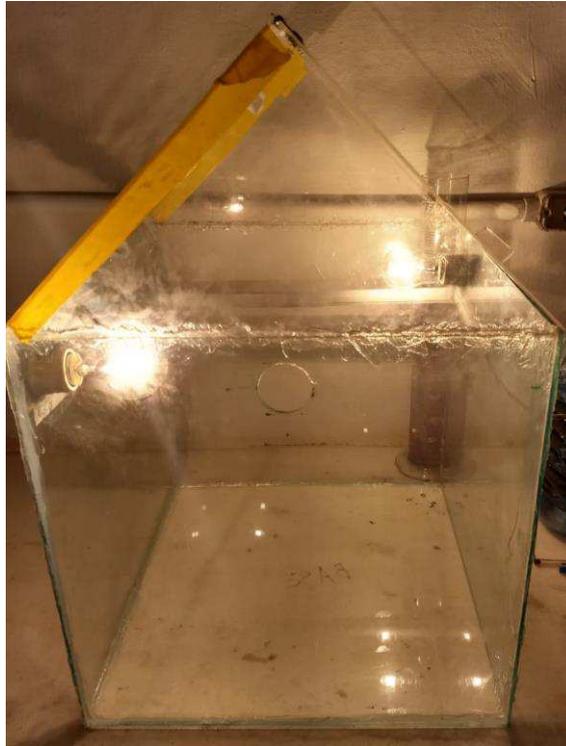


Figura 5.16 - Funcionamento das lâmpadas dentro da câmara (Autor, 2019)

- Teste de temperatura

De acordo com a norma ISO 9227, a temperatura durante os testes deverá ser de 35 °C ± 2 °C. Para medição da temperatura no interior da CNS, utilizou-se um termopar do tipo K, equipamento este que é de uso genérico, baixo custo e cobre temperaturas entre -200 e 1200 °C. A duração do teste foi de 30 min - entre 10h58min até 11h28min – realizado no dia 15/05/2019, onde se observou o aumento da temperatura ambiente de 25,7° C até 35° C, onde se estabilizou, satisfazendo a faixa requerida pela norma.

Encontraram-se as seguintes medidas ao longo do tempo, representadas na Tabela 5.2, Tabela 5.3 e Tabela 5.4.

Tabela 5.2 - Temperatura inicial (ambiente) (Autor, 2019)

15/05/2019	10:58:00	25,7
15/05/2019	10:58:01	25,7
15/05/2019	10:58:02	25,7
15/05/2019	10:58:03	25,7
15/05/2019	10:58:04	25,6
15/05/2019	10:58:05	25,7
15/05/2019	10:58:06	25,7
15/05/2019	10:58:07	25,6
15/05/2019	10:58:08	25,6
15/05/2019	10:58:09	25,6
15/05/2019	10:58:10	25,6
15/05/2019	10:58:11	25,6
15/05/2019	10:58:12	25,6

Tabela 5.3 - Aumento de temperatura ao longo do tempo com aquecimento das lâmpadas (Autor, 2019)

15/05/2019	11:00:59	31,3
15/05/2019	11:01:00	31,3
15/05/2019	11:01:01	31,3
15/05/2019	11:01:02	31,4
15/05/2019	11:01:03	31,4
15/05/2019	11:01:04	31,4
15/05/2019	11:01:05	31,4
15/05/2019	11:01:06	31,4
15/05/2019	11:01:07	31,5
15/05/2019	11:01:08	31,5
15/05/2019	11:01:09	31,5
15/05/2019	11:01:10	31,5
15/05/2019	11:01:11	31,5
15/05/2019	11:01:12	31,6

Tabela 5.4 - Estabilização da temperatura na faixa entre 34° C e 35° C (Autor, 2019)

15/05/2019	11:10:00	34,8
15/05/2019	11:10:01	34,8
15/05/2019	11:10:02	34,8
15/05/2019	11:10:03	34,8
15/05/2019	11:10:04	34,9
15/05/2019	11:10:05	34,9
15/05/2019	11:10:06	34,9
15/05/2019	11:10:07	34,9
15/05/2019	11:10:08	34,9
15/05/2019	11:10:09	34,9
15/05/2019	11:10:10	34,9
15/05/2019	11:10:11	34,9
15/05/2019	11:10:12	34,9

A temperatura se manteve estável na maior parte do tempo entre 34° C e 35°C, com algumas pequenas variações devido ao manuseio do equipamento. Já nas Figura 5.17, Figura 5.18 e Figura 5.19, tem-se o gráfico que representa melhor a estabilização da temperatura dentro da câmara, começando a partir do tempo 11h:06min, quando se atingiu e se manteve o valor requerido.

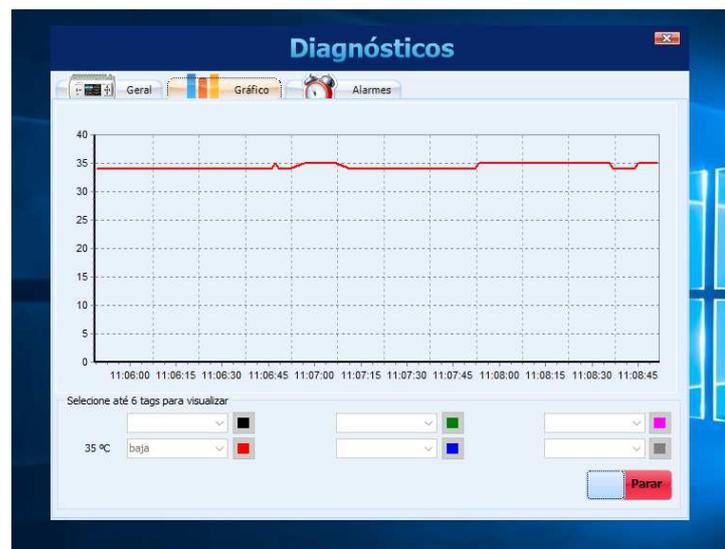


Figura 5.17- Gráfico da temperatura sendo estabilizada (Autor, 2019)

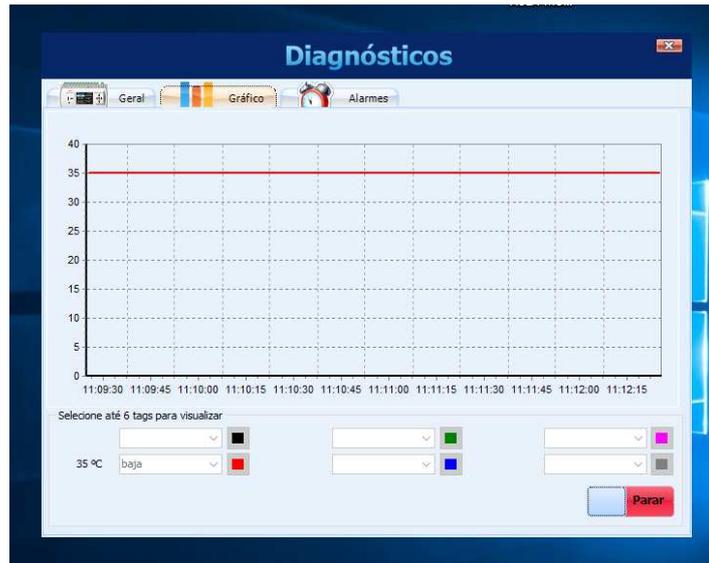


Figura 5.18 - Temperatura estável em 35° C durante o teste (Autor, 2019)

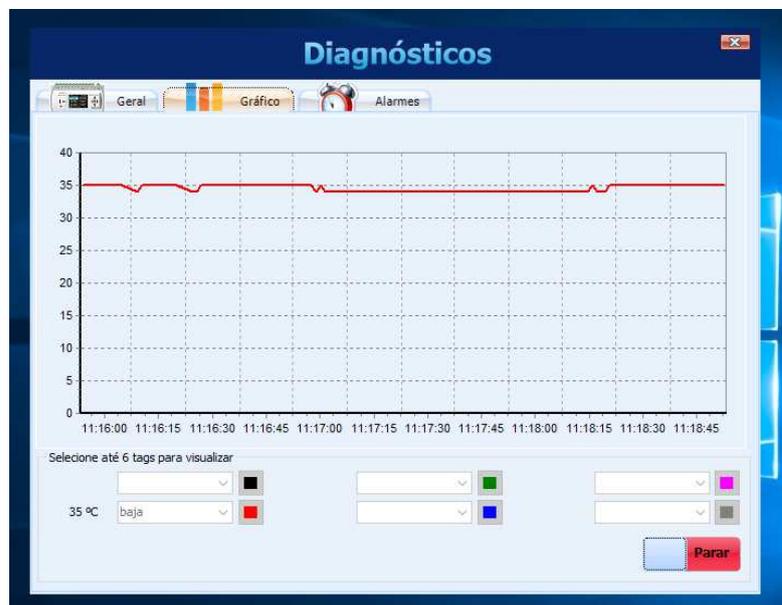


Figura 5.19 - Pequenas variações de temperatura pelo manuseio do equipamento (Autor, 2019)

#### 5.4.5 Reservatório e Pulverizador

Utilizamos um umidificador de ar ultrassônico Incoterm UMD100, para fazer o papel de pulverizador, injetando uma espécie de névoa salina sobre as amostras organizadas dentro da CNS, e de reservatório para a solução com concentração de 5% de NaCl, simulando uma atmosfera marinha em laboratório.

- Teste de vazão

Para definir a vazão de solução pulverizada a ser utilizada na CNS, foram realizados testes com o umidificador Incoterm UMD100 e suas diferentes marcações de velocidade da névoa. Foi feito também marcações para nível da água no reservatório (Figura 5.20).



Figura 5.20 - Umidificador com marcações de nível de água no reservatório (Autor, 2019)

Calculou-se a vazão a partir de quanto tempo cada marcação leva para o consumo de 200 mL de solução, com alguns dos resultados sendo mostrados na Tabela 5.5 a seguir.

Tabela 5.5- Vazão do umidificador para diferentes marcações de velocidade (Autor, 2019)

<b>POSIÇÃO</b>	<b>PERDA(ml)</b>	<b>TEMPO(h)</b>	<b>TEMPO(s)</b>	<b>VAZÃO(mL/s)</b>
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>2</b>	<b>200</b>	<b>02:06:22</b>	<b>7582</b>	<b>0,026378264</b>
<b>4</b>	<b>200</b>	<b>01:50:47</b>	<b>6647</b>	<b>0,030088762</b>
<b>6</b>	<b>200</b>	<b>01:23:45</b>	<b>5025</b>	<b>0,039800995</b>
<b>8</b>	<b>200</b>	<b>00:35:53</b>	<b>2153</b>	<b>0,092893637</b>

Segundo as normas ASTM B-117 e ISO 9227, a quantidade de névoa dentro da câmara tem que ser tal qual a cada 80 cm<sup>2</sup> de área de coleta horizontal, deve ser coletado de 1.0 a 2.0 mL de solução por hora. Os dispositivos para esta coleta consistem em funis de materiais como vidro ou plástico com um diâmetro de 100 mm (que equivale a uma área de 80 cm<sup>2</sup>). Na Tabela 5.6 são apresentadas as principais condições de operação da câmara.

Tabela 5.6 - Condições de operação da câmara de névoa salina (ISO 9227) (Autor, 2019)

Test method Item	Neutral salt spray (NSS)	Acetic acid salt spray (AASS)	Copper-accelerated acetic acid salt spray (CASS)
Temperature	35 °C ± 2 °C	35 °C ± 2 °C	50 °C ± 2 °C
Average collection rate for a horizontal collecting area of 80 cm <sup>2</sup>	1,5 ml/h ± 0,5 ml/h		
Concentration of sodium chloride (collected solution)	50 g/l ± 5 g/l		
pH (collected solution)	6,5 to 7,2	3,1 to 3,3	3,1 to 3,3

A partir dos testes feitos, foi escolhida a posição 2 do controlador (Figura 5.21) do umidificador para realização do ensaio, pois a vazão de 0,026 mL/s é equivalente à coleta requerida pela norma.

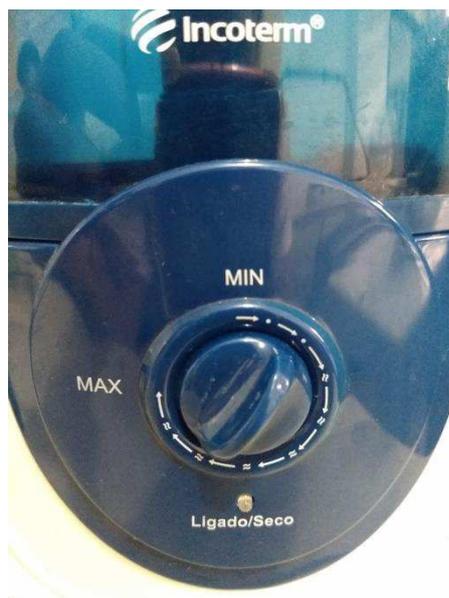


Figura 5.21 - Marcações das velocidades da névoa do umidificador (Autor, 2019)

#### 5.4.6 Sistema de Coleta

Uma das pontas da mangueira de silicone de 3/4'' foi fixada no fundo da câmara (Figura 5.22), utilizando tek bond 793, a outra ponta foi acoplada na tampa de um galão de 6 L (Figura 5.23).



Figura 5.22 – Fundo da câmara furo para saída da solução (Autor, 2019)



Figura 5.23 - Mangueira para coleta da solução da câmara (Autor, 2019)



Figura 5.24 - Galão de 6L para armazenagem do sistema de coleta (Autor, 2019)

Esse conjunto todo irá agir como coleta da solução que será pulverizada na CNS, para o mesmo não ficar acumulado no fundo, sendo depositado no galão de 6L (Figura 5.24).

#### 5.4.7 Porta Amostra

Utilizaram-se dois blocos de madeira de 300 mm x 94 mm x 34 mm (Figura 5.25) apoiados numa base de MDF de 120 mm x 150 mm (Figura 5.26) para altear o porta amostras afim de que os corpos de prova ficassem mais pertos da pulverização.



Figura 5.25 – Porta amostras (Autor, 2019)

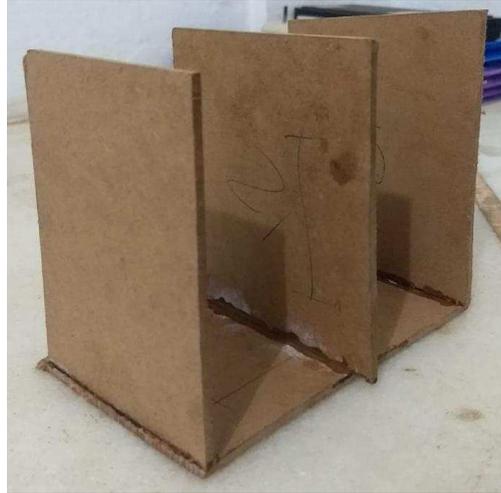


Figura 5.26 – Base Porta Amostras (Autor, 2019)

#### 5.4.8 Teto

Para o teto foram utilizadas 2 placas triangulares e 2 retangulares de uma chapa de acrílico de 2000 mm x 1000 mm x 3 mm (Figura 5.27 e Figura 5.28). A parte fixa do teto da CNS foi colado e esquadrejada, utilizando, respectivamente, tek bond 793 e esquadro (Figura 5.29).



Figura 5.27 – Placas de acrílico(Autor, 2019)



Figura 5.28 - Montagem das placas para o teto da câmara (Autor, 2019)

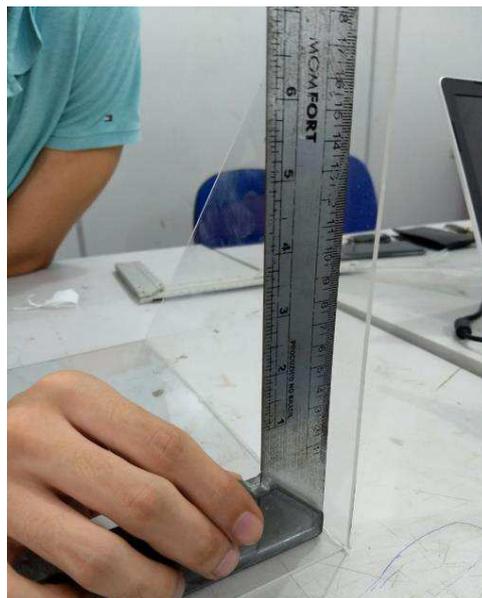


Figura 5.29 - Placas esquadradas para montagem (Autor, 2019)

Foram marcados os lugares onde seriam feito os furos para a implantação das dobradiças (Figura 5.30).

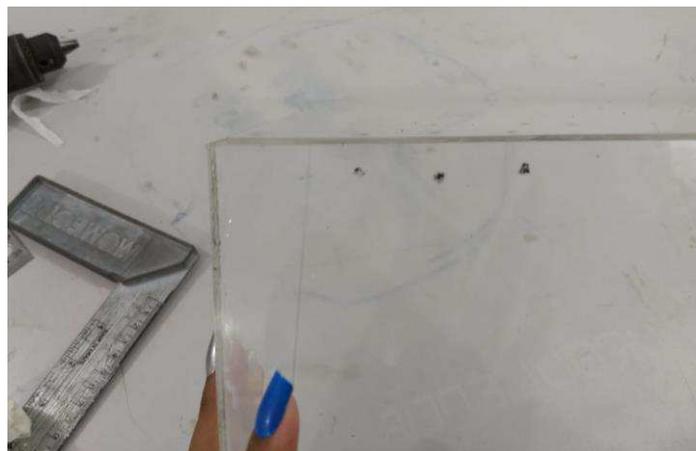


Figura 5.30 - Marcações para os furos que levam as dobradiças (Autor, 2019)

Para a montagem da parte móvel da tampa, utilizou-se uma parafusadeira, rebiteadeira, rebites e arruelas para fixação das dobradiças na placa de acrílico (Figura 5.31).



Figura 5.31 - Utilização da rebiteadeira (Autor, 2019)

Segundo a norma ASTM B117 o teto da câmara deve ter uma angulação de 90 a 125° (Figura 5.32).



Figura 5.32 - Teto completo, com angulação referente à norma (Autor, 2019)

O puxador, em forma de chapa foi feito de acrílico com medidas de 120 mm x 20 mm e fixado com tek bond 793 na parte móvel da tampa da CNS (Figura 5.33).



Figura 5.33 - Puxador de acrílico da parte móvel do teto (Autor, 2019)

Depois de o teto estar todo pronto, o mesmo foi reforçado com fita plástica (Figura 5.34) para melhor vedação e impossibilitar possíveis perdas da névoa.



Figura 5.34 - Vedação de parte do teto da câmara (Autor, 2019)

## **5.5 Preparação dos corpos de provas dos materiais para a realização dos testes com o equipamento**

### 5.5.1 Pré ensaio

#### 5.5.1.1 Limpeza dos cp's

Segundo a norma ISO 9227-06, os cp's de aço devem ser cuidadosamente limpos antes do ensaio, não utilizando quaisquer tipos de abrasivos e/ou solventes que poderão vir atacar a superfície dos cp's. Deve-se tomar cuidado para que os cp's não sejam recontaminados após a limpeza por manuseio.

Como os cp's apresentavam resíduos de sujeiras, os mesmos foram devidamente limpos antes do teste com um solvente orgânico para não prejudicar os resultados finais pós-teste.

Foi utilizada uma balança analítica do Laboratório Química da Universidade Estadual do Maranhão para verificação da massa inicial antes do ensaio

#### 5.5.1.2 Medição dos cp's

Utilizou-se um paquímetro para medir a largura, comprimento e a espessura dos cp's (Figura 5.35).



Figura 5.35 - Medição do corpo de prova (Autor, 2019)

#### 5.5.1.3 Solução para o ensaio

No Laboratório de Química da Universidade Estadual do Maranhão preparou-se uma solução aquosa pela dissolução de  $(250 \pm 5)$  g de cloreto de sódio (5% de NaCl) num volume de água, permitindo a obtenção de 5 L da solução para o ensaio de corrosão, à temperatura ambiente (Figura 5.36).



Figura 5.36 – Solução de NaCl (Autor, 2019)

#### 5.5.1.4 Organização dos cp's

Os cp's foram dispostos nos porta amostras com um ângulo de 15° com a vertical e colocados na CNS para começo do teste, sendo 6 cp's em cada porta amostras (Figura 5.37).

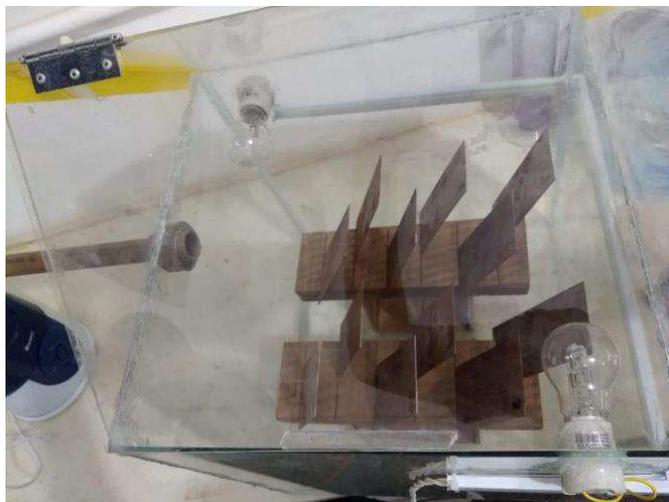


Figura 5.37 – Cp's dentro da CNS (Autor, 2019)

#### 5.5.1.5 Ensaio

Realizou-se o ensaio de névoa salina (Figura 5.38e Figura 5.39) com o aço ASTM A-36 sem tratamento, com 12 amostras organizadas dentro da CNS, começando no dia 03/06/2019 às 15h30min e terminando no dia 05/03/2019 às 15h30min, totalizando as 48h de ensaio requeridas pela norma, com o umidificador na posição 2.



Figura 5.38 - CNS antes dos testes (Autor, 2019)

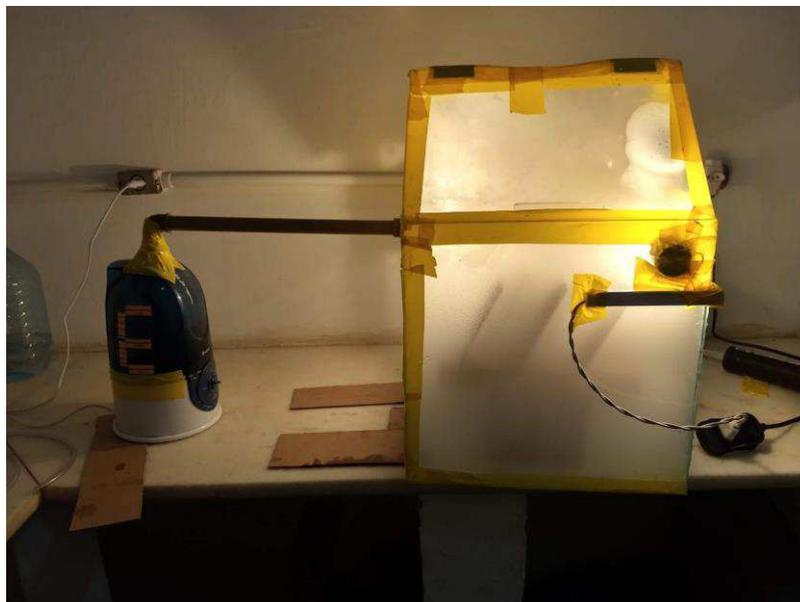


Figura 5.39 - CNS durante os testes (Autor, 2019)

Os ensaios foram observados constantemente, como por exemplo, a temperatura da CNS, que ficou mantida a uma temperatura de  $(35 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  e foi verificada através de um termopar.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Dimensionamento dos cp's para o ensaio

A Tabela 6.1 mostra as dimensões dos cp's e o cálculo de suas áreas.

Tabela 6.1 – Dimensão dos cp's (Autor, 2019)

Chapa de Aço ASTM-A36			
Corpo de Prova	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )
1	0,15	0,07	0,0105
2	0,15	0,07	0,0105
3	0,15	0,071	0,01065
4	0,15	0,07	0,0105
5	0,151	0,07	0,01057
6	0,149	0,071	0,010579
7	0,15	0,07	0,0105
8	0,15	0,07	0,0105
9	0,15	0,07	0,0105
10	0,151	0,07	0,01057
11	0,15	0,07	0,0105
12	0,151	0,071	0,010721

### 6.2 Coleta dos dados pós ensaio

#### 6.2.1 Verificação do consumo da solução e avaliação do processo de corrosão

O teste foi concluído às 15h30min do dia 05/06/2019, completando assim, 48 horas de funcionamento do equipamento. Observou-se um consumo de 2800 ml de solução de NaCl durante o período, e alguns pontos pós teste merecem ser citados.

A câmara no geral conseguiu segurar a névoa em seu interior com facilidade apesar de alguns pequenos pontos de vazamento, sendo necessário um reforço de vedação após início do ensaio. A base de madeira e o suporte de MDF se mostraram bastante umedecidos devido à condensação da solução no interior da câmara, apesar de terem resistido às suas funções originais perfeitamente. A corrosão ocorreu em toda superfície das placas, sendo mais agressiva na face de encontro com a saída do pulverizador.

### 6.2.2 Limpeza dos cp's pós ensaio para verificação da massa final

Após término do ensaio, imediatamente realizou-se a limpeza dos corpos de prova para análise da perda de massa (Figura 6.1). A norma recomendada para limpeza é ISO 8407, que possui várias soluções de reagentes dependendo do material, sendo para os metais 5 tipos diferentes. De acordo com os reagentes disponíveis na universidade, escolheu-se fazer uma solução com 100 g de hidróxido de sódio, 10 g de zinco granulado e água destilada para fazer 500 ml de solução, valores estes referentes a metade dos citados na norma, mas mantendo-se a proporção.



Figura 6.1 - Corpo de prova corroído (Autor, 2019)

Os corpos de prova enumerados foram imersos em um recipiente de 500 ml com a solução, durante um tempo de 5 min para limpeza das amostras, onde mostrou-se um alto poder de limpeza dos reagentes que foi diminuindo quanto mais se usava a mesma solução (Figura 6.2).



Figura 6.2 - Corpo de prova pós limpeza (Autor, 2019)

Após imersão foram escovados com auxílio de água destilada para remoção do excesso de depósitos corrosivos que ainda resistiam na placa, afim de uma pesagem mais precisa. As 12 placas foram limpas e depois secas, e o recipiente da solução apresentou mudança de coloração devido ao depósito de produtos corrosivos desprendidos das amostras, como mostrado na Figura 6.3.



Figura 6.3 - Solução pós limpeza dos 12 cp's (Autor, 2019)

### 6.2.3 Cálculo da perda de massa por área para validação da CNS

Para validação do funcionamento do equipamento de acordo com a norma ISO 9227, necessita-se uma perda de  $70 \pm 20 \text{ g/m}^2$  para operações de 48 horas. Assim, ao valor inicial da massa antes do teste, diminui-se o valor encontrado após o funcionamento e a limpeza química, dividindo o resultado pela área em  $\text{m}^2$  da placa analisada, como mostra a Equação 6.1 a seguir:

$$P_m = \frac{M_i - M_f}{A} \quad (\text{Equação 6.1})$$

Onde:

$P_m$  = Perda de massa

$M_i$  = Massa inicial (pré-teste)

$M_f$  = Massa final (pós teste)

$A$  = Área da placa em  $\text{m}^2$

Antes da realização do teste, as 12 placas foram pesadas em uma balança analítica fornecida pelo laboratório de química da universidade. As pesagens pós teste também foram realizadas e assim encontrou-se os seguintes resultados:

Tabela 6.2 - Perda de massa dos corpos de prova analisados (Autor, 2019)

Chapa de Aço Preto ASTM-A36				
Corpo de Prova	Área ( $\text{m}^2$ )	Massa Pré Teste (g)	Massa Pós Teste (g)	Perda de Massa ( $\text{g/m}^2$ )
1	0,0105	99,2516	98,464	75,00952381
2	0,0105	99,7306	98,901	79,00952381
3	0,01065	100,1179	99,427	64,87323944
4	0,0105	99,5795	98,923	62,52380952
5	0,01057	98,9598	98,224	69,61210974
6	0,010579	99,1629	98,298	81,75630967
7	0,0105	99,1935	98,514	64,71428571
8	0,0105	100,3094	99,684	59,56190476
9	0,0105	99,9057	98,999	86,35238095
10	0,01057	99,1018	99,914	-76,84011353
11	0,0105	100,5111	99,978	50,77142857
12	0,010721	100,0852	101,388	-121,5185151

Analisando os resultados percebe-se uma diferença encontrada em alguns valores que se deve por inúmeros fatores: por mais uniforme que seja a névoa dentro da câmara, os corpos de prova mais próximos do pulverizador receberão solução pulverizada mais direta que os demais; a limpeza é muito mais eficaz nos materiais que foram trabalhados primeiro, aproveitando da eficiência dos reagentes logo após seu preparo, observando-se uma queda do potencial de limpeza ao longo do tempo nas amostras seguintes. Os valores negativos se dão à formação do produto corrosivo nas placas que não conseguiu ser retirado com a solução química, gerando uma massa próxima da inicial ou até mesmo superior.

No mais, a grande maioria dos resultados atendeu as especificações requeridas das normas, alcançando uma média de 71,4903 g/m<sup>2</sup>, (ignorando-se os 3 últimos valores da tabela, por se tratarem das últimas amostras limpas em uma solução de pouco poder de reação) validando o funcionamento do equipamento.

O tipo de corrosão apresentado nos corpos de prova foi do tipo puntiforme ou por pites, devido aos vários pequenos pontos de corrosão apresentados na face do material.

## 7 CONCLUSÃO

Conclui-se que todos os objetivos foram alcançados: a Câmara de Névoa Salina foi construída seguindo as normas ISO 9227 e ASTM B117, a análise de perda de massa foi realizada para validação do funcionamento da mesma, soluções de combate à corrosão foram propostas e o equipamento continuará sendo utilizado pela universidade para estudo da corrosão em materiais.

A partir dos resultados obtidos pelo teste de perda de massa nas amostras obteve-se o valor médio de 71,4903 g/m<sup>2</sup>, que satisfaz o valor requerido pela norma de 70 ± 20 g/m<sup>2</sup>. Alguns valores registrados foram bem diferentes da média devido à perda de eficiência da solução de limpeza, sendo desconsiderados no cálculo da média.

Os materiais expostos a um ambiente litorâneo confirmaram serem mais sujeitos à agressividade corrosiva devido à névoa salina provinda do mar que em demais localidades. A corrosão acelerada foi do tipo puntiforme nos corpos de prova, mostrando um alto índice corrosivo em pouco tempo. A necessidade de medidas preventivas na utilização desses materiais na região litorânea por meio da pintura da superfície com tintas especiais foi clara, já que mesmo em materiais galvanizados, a película protetora se torna ineficaz diante desta atmosfera marinha.

## 8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista tudo que foi elucidado na realização desse trabalho, entende-se como uma sequência natural fazer melhorias e explorar mais abordagens sobre o tema, em razão do panorama um uso de uma Câmara de Névoa Salina para ensaio acelerado de corrosão ainda ser relativamente novo, de forma que se sugere uma continuidade deste trabalho, em forma de trabalhos futuros. Assim, se propõe o seguinte:

- Confeccionar o porta amostras com outro material, como por exemplo, vidro, plástico ou acrílico, afim de evitar que o material fique úmido, acelerando seu processo de corrosão;
- Utilizar outro sistema de coleta, pois o mesmo não foi suficiente e acabou cedendo durante os testes;
- Aumentar a capacidade da CNS a fim de caber mais amostras;
- Utilizar um pulverizador com a capacidade maior que 3 litros para evitar a manutenção em curtos intervalos de tempo;
- Fazer ensaios em outros tipos de materiais;
- Vedar melhor a CNS para impossibilitar perdas de névoa salina durante o ensaio.

## 9 REFERÊNCIAS

ABARUTTI. O que é o container marítimo e quais as vantagens em utilizá-lo? Miranda Container, 2018. Disponível em: <<https://mirandacontainer.com.br/o-que-e-o-container-maritimo-e-quais-as-vantagens-em-utiliza-lo/>>. Acesso em: 13 maio 2019.

ABARUTTI. Quais são as especificações do Container Dry Cargo? Miranda Container, 2018. Disponível em: <<https://mirandacontainer.com.br/container-dry-cargo/>>. Acesso em: 17 maio 2019.

AMBIENTALI, T. S. Torino Soluzioni Ambientali, 2018. Disponível em: <<http://www.tsambientali.com.br/tipos-de-corrosao-saiba-como-diferenciar-cada-processo-corrosivo/>>. Acesso em: 27 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-1**: Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5737**: Cimentos Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

**ASTM B117** - Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus, 2011.

Bidetti, B. Et al. **AVALIAÇÃO DO EFEITO DE GASES POLUENTES NA CORROSÃO METÁLICA: UM EXPERIMENTO PARA O ENSINO DA CORROSÃO**. Química Nova, Vol. 34, No. 8, 1472-1475, 2011.

BRASIL, N. Oxidação e Corrosão. NHC Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.nch.com.br/nchbrasil/Oxidacao-e-Corrosao.aspx>>. Acesso em: 27 maio 2019.

CALLISTER JR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 9 ed. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2016.

CEARENSE, G. Conheça os principais tipos de aço e suas aplicações. Grupo Cearense, 2017. Disponível em: <<http://www.grupoacocearense.com.br/blog/gestao-de-estoque/principais-tipos-de-aco/>>. Acesso em: 25 maio 2019.

COLPAERT, Humberto. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos**. 5º Edição. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2008.

CORSINI, R. Proteção Catódica. Infraestrutura Urbana - Projetos, Custos e Construção, 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/14/3-protecao-catodica-metodo-e-usado-para-protecao-anticorrosiva-257602-1.aspx>>. Acesso em: 27 maio 2019.

CSN. Catálogos de zincados, de laminados a frio e de laminados a quente da CSN. Companhia Siderúrgica Nacional, 2019. Disponível em: <[http://www.csn.com.br/conteudo\\_pti.asp?idioma=0&tipo=59677&conta=45](http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=59677&conta=45)>. Acesso em: 20 janeiro 2019.

Evangelista, H. Et al. **COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CHUVA E APORTE ATMOSFÉRICO NA ILHA GRANDE, RJ**. Química Nova, Vol. 29, No. 3, 471-476, 2006.

FERNANDES, L. Blog Descalada, 2019. Disponível em: <<https://blogdescalada.com/corrosao-galvanica-saiba-mais-sobre-o-inimigo-silencioso-das-protecoes-de-escalada>>. Acesso em: 27 maio 2019.

FERNANDES, L. G. Mult Jr, 2018. Disponível em: <<https://multjr565075764.wordpress.com/2018/04/02/como-acabar-com-a-corrosao-em-sua-empresa/>>. Acesso em: 27 maio 2019.

FERNANDES, V. K. Engenheiro de Materiais. Engenheiro de Materiais, 2017. Disponível em: <<http://engenheirodemateriais.com.br/2017/04/26/as-formas-de-corrosao/>>. Acesso em: 12 janeiro 2019.

FILHO, F. C. M. F.; TOGAWA, E. H. V.; CANTANHEDE, G. A. **AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE CORROSÃO E DEPOSIÇÃO EM MEIO ATMOSFÉRICO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO LUÍS - MA**, São Luís, p. 5, 21 agosto 2018. ISSN 1.

FREIRE, K.R.R. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto**. 192p. Dissertação (Mestrado em estruturas), Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2005.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6ª ed. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2011.

GEREMIA, D. Veja como prevenir o Desgaste por Corrosão Erosão. LinkedIn, 2016. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/veja-como-prevenir-o-desgaste-por-corros%C3%A3o-eros%C3%A3o-darlan-geremia>>. Acesso em: 27 maio 2019.

GILLARD, P. A CIÊNCIA POR TRÁS DO CHEIRO DE MAR. Revista Galileu, 2015. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio-Ambiente/noticia/2015/06/ciencia-por-tras-do-cheiro-de-mar.html>>. Acesso em: maio 27 2019.

HALECK, L. Corrosão por Pites (Puntiforme). Conpleq Consultoria, 2016. Disponível em: <<http://www.conpleq.com.br/conpleq-consultoria-corrosao-por-pites-puntiforme/>>. Acesso em: 27 maio 2019.

**ISO 8407** International Standard - Corrosion of metals and alloys – Removal of corrosion products from corrosion test specimens, 2009.

**ISO 9227** International Standard - Corrosion tests in artificial atmospheres – Salt spray tests, jul 2006.

JOUKOSKI, A.; PORTELLA, K.F.; GARCIA, C.M.; SALES, A.; CANTÃO, M.P.; BARON, O.; AZEVEDO, V.A.L. Desempenho elétrico de concreto armado com cimento Portland composto com pozolana, CII-Z 32, em função do envelhecimento por íons cloreto. Parte I, estudo da corrosão da armadura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2001. p.III-020. CD-ROM.

KOPSCH, W.; PADARATZ, I.J. Durabilidade de estruturas de concreto armado em ambiente marinho – estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 43., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2001. p.III-026. CD-ROM.

LOPES, P. Corrosão. Olhares - Fotografia Online, 2011. Disponível em: <<https://olhares.sapo.pt/corrosao-foto4754701.html>>. Acesso em: 27 maio 2019.

MAIS, L. Poste de iluminação cai e vira um risco para quem anda no Jardim de Alah. Leia Mais, 2017. Disponível em: <<https://leiamais.ba/2017/06/25/poste-de-iluminacao-cai-vira-um-risco-para-quem-anda-no-jardim-de-alah>>. Acesso em: 27 maio 2019.

MARÍTIMOS, T. A. M. M. C.-V. E. L. D. C. CONTAINER MARÍTIMO HC. T.A.M. Miranda Containers - Venda e Locação de Containers Marítimos, 2017. Disponível em: <<http://www.tammiranda.com.br/container-maritimo-hc>>. Acesso em: 30 maio 2019.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C.; MAINIER, F. B. **Corrosão - Um exemplo usual do fenômeno químico**. Corrosão, Rio de Janeiro, 12 abril 2004. 4.

NACE Publication **3D170** – Electrical and Electrochemical methods of Determining corrosion Rates, Houston, 1984.

NAKAMURA, J.; FARIA, R. Intervenções corretivas estendem a vida útil das estruturas de concreto armado. *Téchne*, 2013. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/201/intervencoes-corretivas-reestabelecem-estendem-a-vida-util-das-estruturas-de-302536-1.aspx>>. Acesso em: 27 maio 2019.

NUNES, G. F. M. Proteção Anódica. CEFET - MG. Belo Horizonte, p. 6. 2016. (1).

PANNONI, F. D. **Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em Situação de Corrosão e Incêndio**. 6ª ed. ed. [S.l.]: [s.n.], 2007.

PASIFER. Chapas. Pasiver - Aços Especiais, 2016. Disponível em: <<https://www.pasifer.com.br/produtos/chapas-sae1020-sae1045-astm-a36.php>>. Acesso em: 27 maio 2019.

PAULA, H. D. Estado de postes da orla da Barra preocupa banhistas e quiosqueiros. *O Globo*, 2016. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/bairros/estado-de-postes-da-orla-da-barra-preocupa-banhistas-quiisqueiros-19284082>>. Acesso em: 27 maio 2019.

Pontes, R. B. **DISSEMINAÇÃO DE ÍONS CLORETO NA ORLA MARÍTIMA DO BAIRRO DE BOA VIAGEM, RECIFE-PE**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife.

RAIYLSO, M. Nas Praias Piauienses: Casas de Praia são as maiores vítimas da corrosão. *Oito Meia*, 2017. Disponível em: <<https://www.oitomeia.com.br/colunas/engenhairo-marcos/2017/10/28/nas-praias-piauienses-casas-de-praia-sao-as-maiores-vitimas-da-corrosao/>>. Acesso em: 27 maio 2019.

RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. Avaliação Inicial da Microestrutura e da Resistência Mecânica do Concreto Utilizado em Postes da Zona Litorânea de São Luís. **Revista Matéria**. No prelo 2016.

RIBEIRO, D.V. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: \_\_\_\_\_. **Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Cap.3, 37-50p.

RIBEIRO, D.V. **Influência da adição da lama vermelha nas propriedades e na corrosibilidade do concreto armado**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, 2010.

RODRIGUES, Emanuel Rezende, **Influência de parâmetros do processo FCAW– G nas características da solda do Aço ASTM A-36**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 96p.

RODRIGUES, Luciano Monteiro. **Desenvolvimento de equipamento para realização de ensaios com névoa salina para avaliar a resistência à corrosão em metais**. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2017.

SAMPAIO, Matheus de Moura; CODARO, Eduardo Norberto; ACCIARI, Heloisa Andréa. **CORROSÃO ATMOSFÉRICA: UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL NO ENSINO DAS CIÊNCIAS DO AMBIENTE**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 10, n. 6, 2014

SANTOS, V. A. A.; PEREIRA, A. P. S.; MORAES, J. P. V.; SANTANA, C. G.; RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. Avaliação Inicial da Microestrutura e da Resistência Mecânica do Concreto Utilizado em Postes da Zona Litorânea de São Luís. **Revista Matéria**. No prelo 2016.

SOUSA, C.A.C. Princípios da corrosão eletroquímica. In: RIBEIRO, D.V. **Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Cap.2, 13-35 p.

TECNOSIL. **CORROSÃO DE ARMADURA: O QUE CAUSA E COMO AMENIZAR ESSE DANO?** Tecnosil, 2018. Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/corrosao-de-armadura-o-que-cao-e-como-amenizar-esse-dano/>>. Acesso em: 30 maio 2019.

TORK, L. **Corrosão Sob Tensão**. Laboratórios Tork, 2015. Disponível em: <<https://laboratorios-tork.com.br/servicos/intemperismo-e-corrosao/corrosao-sob-tensao/>>. Acesso em: 27 maio 2019.

TRIPADVISOR. Calhau Praia Hotel. TripAdvisor, 2017. Disponível em: <[https://www.tripadvisor.com.br/LocationPhotoDirectLink-g673267-d1198527-i298797236-Calhau\\_Praia\\_Hotel-Sao\\_Luis\\_State\\_of\\_Maranhao.html](https://www.tripadvisor.com.br/LocationPhotoDirectLink-g673267-d1198527-i298797236-Calhau_Praia_Hotel-Sao_Luis_State_of_Maranhao.html)>. Acesso em: 30 maio 2019.

VIEIRA, J. Inspeção de Equipamentos: Estudo de Casos, 2014. Disponível em: <<http://inspecaoequipto.blogspot.com/2014/01/caso-055-corrosao-por-fresta-em.html>>. Acesso em: 27 maio 2019.

VLADIMIROVICH, K. V. CARBONATAÇÃO COMPROMETE A DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO. Mapa da Obra, 2017. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/carbonatacao-compromete-a-durabilidade-das-estruturas-de-concreto/>>. Acesso em: 27 maio 2019.

XAVIER, M. M. Pintura de container: dicas e cuidados para se ter uma proteção anticorrosiva e eficiente. Minha Casa Container, 2015. Disponível em: <<https://minhacasacontainer.com/2015/06/22/pintura-de-container-dicas-e-cuidados-para-se-ter-uma-protecao-anticorrosiva-e-eficiente/>>. Acesso em: 30 maio 2019.