



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO

PAMELLA HAYANA LIMA LOPES

**DESEMPENHO DE TINTAS ANTICORROSIVAS EM REVESTIMENTO DE AÇO-
CARBONO SAE 1020**

FORTALEZA

2019

PAMELLA HAYANA LIMA LOPES

DESEMPENHO DE TINTAS ANTICORROSIVAS EM REVESTIMENTO DE AÇO-
CARBONO SAE 1020

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharela em Química com habilitação em Química Industrial. Área de concentração: Corrosão.

Orientador: Prof. L.D. Francisco Belmino Romero.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L855 Lopes, Pamella Hayana Lima.
Desempenho de tintas anticorrosivas em revestimento de aço-carbono SAE 1020 / Pamella Hayana Lima
Lopes. – 2019.
56 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Economia Doméstica, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Belmino Romero.

1. Proteção de Corrosão. 2. Tintas. 3. Ensaio Acelerado. I. Título.

CDD 640

PAMELLA HAYANA LIMA LOPES

DESEMPENHO DE TINTAS ANTICORROSIVAS EM REVESTIMENTO DE AÇO-
CARBONO SAE 1020

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharela em Química com habilitação em Química Industrial. Área de concentração: Corrosão.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. L.D. Francisco Belmino Romero (Orientador Pedagógico)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ma. Janaína Sobreira Rocha (Examinadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Wellington Erivaldo Diogenes Santos (Orientador Profissional)
AWD Serviços e Manutenção de Materiais Elétricos (AWD)

A Deus.

Aos meus pais, Angela e Noltevir, e ao meu
noivo, Bruno.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. L.D. Francisco Belmino Romero, pelos ensinamentos que foram além da contribuição e orientação do trabalho, foram incansáveis conhecimentos de físico-química e a cerca da vida.

A Ma. Janaína Sobreira Rocha, pela árdua orientação ao trabalho e pelas trocas de ensinamentos, pela amizade e pelos profundos ensinamentos a cerca do mundo zen.

Aos participantes da banca examinadora Wellington Eivaldo Diogenes Santos, prof. L.D. Francisco Belmino Romero e Ma. Janaína Sobreira Rocha pelo tempo e por suas valiosas colaborações e sugestões.

Ao Wellington Diogenes, como pessoa representante da AWD, pela confiança e oportunidade do estágio.

Ao professor Walney Silva Araújo do Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LPC) no Departamento de Engenharia de Materiais e Metalúrgica da UFC por permitir o uso da câmara de névoa salina. Bem como a Úrsula, ao Vinícius, ao Otilio e ao Lucas Renan por todo o auxílio e socorro durante as etapas do ensaio acelerado.

Aos técnicos e técnicas do Departamento de Química Analítica e Físico-Química (DQAFQ) da UFC pela pronta disponibilidade de água destilada para a execução do ensaio acelerado.

A Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC). Bem como a Natanna e ao Wolker pelo auxílio e colaboração com o corte das peças a frio e uso do microscópio ótico.

Ao Laboratório de Microscopia do Departamento de Geologia da UFC, na pessoa do Joel por sua celeridade ao realizar as análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS).

A Central Analítica, no Departamento de Física da UFC, na pessoa do Victor Teixeira pelas belíssimas análises de microscopia confocal.

Ao Laboratório de Materiais Funcionais Avançados (LaMFA), no Departamento de Física da UFC, que foi minha casa de ensinamentos práticos de laboratório por bastante tempo durante a graduação. Aos colegas com quem trabalhei e compartilhei dias de grandes trabalhos, aprendizados e risadas, com os quais tenho grande amizade. Bem como ao apoio dado a mim por utilizar seu espaço para estudar e armazenar meu material de trabalho durante a realização do presente TCC.

Aos colegas da turma de graduação, pelas reflexões, críticas e pelas boas risadas durante todos esses anos dentro e fora da sala de aula.

A minha amiga Camila Pessoa por ser minha dupla inseparável durante essa jornada pelo mundo da ciência com seus altos e baixos.

Ao meu noivo, companheiro de todas as horas, por seu incentivo, por sua paciência e seu amor.

Aos meus pais que sempre lutaram e torceram por mim, toda a minha gratidão e amor.

A Deus por sua infinita bondade a mim.

“Cada pessoa deve trabalhar para o seu aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, participar da responsabilidade coletiva por toda a humanidade.”

Marie Curie

RESUMO

Ensaio acelerado é a dependência de um material a certo tipo de esforço destrutivo, sob condição controlada, a fim de observar sua eficiência durante o ensaio. Seja esse ensaio a esforços mecânicos, à luz UV, à umidade relativa, à névoa salina, etc. O presente trabalho teve como finalidade comparar a eficiência da proteção de diferentes modelos de pinturas anticorrosivas, utilizadas pela empresa de estágio, para proteção da carcaça exterior de seus transformadores. O ensaio acelerado utilizado foi o *salt spray*, conhecido como ensaio acelerado de névoa salina, baseando-se na norma ASTM B 117. A fim de conhecer a superfície e a composição do substrato metálico (aço carbono SAE 1020) e das tintas *primers* e de acabamento realizou-se microscopia ótica, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS) e microscopia confocal. A caracterização dos corpos-de-prova durante o monitoramento da corrosão se deu por registros fotográficos, testes de espessura, testes de rugosidade e testes de aderência. (Dados não divulgados pela Autora). O ensaio acelerado de névoa salina foi eficaz por apresentar que o esquema de pintura de tinta primer e de acabamento utilizados para transformadores padrões possui uma qualidade inferior de proteção quando comparado ao esquema de pintura tinta primer e de acabamento para transformadores destinados a orla marítima.

Palavras-chave: Proteção de Corrosão. Tintas. Ensaio Acelerado.

ABSTRACT

The accelerated test is the dependency of the material to a certain type of destructive effort, under controlled conditions, in order to observe its efficiency during the test. These destructive efforts can be mechanical stresses, UV light, relative humidity, salt spray, among others. The present work had the purpose of comparing the protection efficiency of different anticorrosive paints, used by the internship company, on the outer casing of their power transformers. The accelerated test utilized was the salt spray or salt fog test, based on ASTM B 117 standard. In order to know the surface and composition of the metallic substrate (SAE 1020 carbon steel) and primers and finishing paints, optical microscopy, Scanning Electron Microscopy (SEM), X-ray Energy Dispersion Spectroscopy (EDS) and confocal microscopy analysis were performed. The characterization of the specimens during corrosion monitoring was performed by photographic records, thickness, roughness and adhesion tests. (Data not disclosed by the Author). The salt spray test was effective to show that the standard painting scheme (standard primer and finishing paint) had a inferior performance when compared to the painting scheme designed for power transformers located at the seafront.

Keywords: Corrosion protection. Paints. Accelerated test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustrações de tipos de corrosão.	17
Figura 2 - Aço carbono SAE 1020.....	25
Figura 3 - Micrografia do aço carbono SAE 1020: (a) 20X e (b) 40X.....	26
Figura 4 - Esquema de corrosão atmosférica no aço carbono.	27
Figura 5 - Transformador de distribuição revendido pela empresa AWD Energia para uso padrão, na Universidade Federal do Ceará.	34
Figura 6 - Transformadores de distribuição revendidos pela empresa AWD Energia para uso na orla marítima.	34
Figura 7 - Esquema de pintura utilizada para transformadores padrões, (a) aço carbono SAE 1020, (b) tinta primer na cor vermelho escuro e (c) tinta de acabamento na cor cinza claro. ...	36
Figura 8 - Esquema de pintura utilizada para transformadores destinados à orla marítima, (a) aço carbono SAE 1020, (b) tinta primer na cor cinza escuro e (c) tinta de acabamento na cor azul.	37
Figura 9 - Ilustração da incisão feita na parte inferior da chapa até atingir o substrato.	40
Figura 10 - Corpos-de-prova no interior da câmara de ensaio para início do teste de ensaio acelerado de névoa salina.	41
Figura 11 - Imagem da câmara de ensaio acelerado de névoa salina utilizada no presente trabalho.	41
Figura 12 - Ilustração dos pontos equidistantes nos corpos-de-prova para medidas de espessura.....	43
Figura 13 - Ilustração dos pontos equidistantes nos corpos-de-prova para medidas de rugosidade.....	44
Figura 14 - Ilustração do medidor automático PosiTest AT-A (a) dolly, (b) ferramenta de corte adequada, (c) atuador, (d) acoplamento rápido e (e) painel do equipamento.....	45
Figura 15 - Ilustração do dolly sendo arrancado por pressão hidráulica dentro do acoplamento rápido.....	46
Figura 16 - Microscopia ótica do corpo-de-prova AAOM, com resolução 100 μm , (a) tinta de acabamento, (b) tinta primer e (c) aço carbono SAE 1020.	
Figura 17 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do aço carbono SAE 1020 com escalas de (a) 2 mm, (b) 100 μm e (c) 30 μm	
Figura 18 - Mixed feito por EDS do aço carbono SAE 1020, com escala de 1 mm, apresentando elementos como: ferro, representado na cor vermelha, carbono, representado na cor verde e magnésio, representado na cor azul.	
Figura 19 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do aço carbono SAE 1020, (a) em escala de 1 mm e (b) Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS) do aço carbono SAE 1020.....	
Figura 20 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do corpo-de-prova ACP com suas camadas de tinta, (a) com escala de 2 mm e (b) com escala de 200 μm	
Figura 21 - Mixeds feito por EDS do corpo-de-prova ACP, com escala de 200 μm , apresentando elementos como: em (a) cálcio, representado na cor azul, titânio, representado na cor verde e magnésio, representado na cor vermelha; em (b) apresentando elementos como: ferro, representado na cor azul, titânio, representado na coloração verde e magnésio, representado na cor vermelha.	
Figura 22 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do corpo-de-prova PVP com escala de 500 μm	
Figura 23 - Mixeds feito por EDS do corpo-de-prova PVP, com escala de 200 μm , apresentando elementos como: em (a) foi possível observar a presença de elementos como: magnésio, representado na cor vermelha, alumínio, representado na cor verde e silício,	

representado na cor azul; em (b) apresentando elementos como: magnésio, representado na cor vermelha, alumínio, representado na cor verde e cálcio, representado na cor azul.	
Figura 24 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do corpo-de-prova PVP, (a) em escala de 200 μm e (b) Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS) do corpo-de-prova PVP.	
Figura 25 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do corpo-de-prova AAOM com escala de 2 mm.	
Figura 26 - Mixed feito por EDS do corpo-de-prova AAOM, com escala de 80 μm , apresentando elementos como: ferro, representado na cor azul, titânio, representado na cor verde e zinco, representado na cor vermelha.	
Figura 27 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do corpo-de-prova AAOM, (a) em escala de 80 μm e (b) Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS) do corpo-de-prova AAOM.	
Figura 28 - Mixed feito por EDS do corpo-de-prova PCOM, com escala de 80 μm , apresentando elementos como: ferro, representado na cor azul, titânio, representado na cor verde e zinco, representado na cor vermelha.	
Figura 29 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do corpo-de-prova PCOM, (a) em escala de 500 μm e (b) Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS) do corpo-de-prova PCOM.	
Figura 30 - Microscopia confocal aço carbono SAE 1020, (a) micrografia 3D, (b) altura variando com a escala de cores.	
Figura 31 - Microscopia confocal da amostra PVP, (a) micrografia 3D, (b) altura variando com a escala de cores.	
Figura 32 - Microscopia confocal da amostra ACP, (a) micrografia 3D, (b) altura variando com a escala de cores.	
Figura 33 - Microscopia confocal da amostra PCOM, (a) micrografia 3D, (b) altura variando com a escala de cores.	
Figura 34 - Microscopia confocal da amostra AAOM, (a) micrografia 3D, (b) altura variando com a escala de cores.	
Figura 35 - 0 dias (0 horas) no Ensaio Acelerado de Névoa Salina.	
Figura 36 - Aço SAE 1020 em (a) e sua duplicata em (c) antes da corrosão, e (b) e (d) após 07 dias (168 horas) no Ensaio Acelerado de Névoa Salina.	
Figura 37 - 07 dias (168 horas) no Ensaio Acelerado de Névoa Salina (antes da limpeza).	
Figura 38 - 07 dias (168 horas) no Ensaio Acelerado de Névoa Salina (após a limpeza).	
Figura 39 - 17 dias (397 horas) no Ensaio Acelerado de Névoa Salina (antes da limpeza).	
Figura 40 - 17 dias (397 horas) no Ensaio Acelerado de Névoa Salina (após a limpeza).	
Figura 41 - 24 dias (580 horas) no Ensaio Acelerado de Névoa Salina (antes da limpeza).	
Figura 42 - 24 dias (580 horas) no Ensaio Acelerado de Névoa Salina (após a limpeza).	
Figura 43 - Ilustração de diferentes tipos de rupturas que ocorrem no teste de aderência, visão horizontal, como: (a) ruptura coesiva, (b) ruptura adesiva e (c) defeito de cola.	
Figura 44 - Ilustração, da face do dolly e da superfície do revestimento, de diferentes tipos de rupturas recorrentes no teste de aderência, visão vertical, como: a) ruptura coesiva, b) ruptura adesiva e c) 50% ruptura coesiva e 50% ruptura adesiva.	70
Figura 45 - Imagens das faces dos dollys e das superfícies após cada teste realizado de aderência.	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Esquemas de pintura utilizados para corpos-de-prova com substrato metálico de aço carbono SAE 1020.	37
Tabela 2 - Nomenclatura dos corpos-de-prova utilizados no ensaio acelerado de névoa salina.	38
Tabela 3 - Médias e desvio padrão dos pontos medidos no teste de espessura dos corpos-de-prova submetidos ao ensaio acelerado de névoa salina.	
Tabela 4 - Médias e desvio padrão dos pontos medidos no teste de rugosidade dos corpos-de-prova submetidos ao ensaio acelerado de névoa salina. * ND: Não Disponível.....	
Tabela 5 - Teste de Aderência (Pull Off).	
Tabela 6 - Natureza da ruptura no teste de Aderência (Pull Off).....	
Tabela 7 - 1º Teste de Espessura, com 0 dias no ensaio acelerado.....	
Tabela 8 - 2º Teste de Espessura, com 07 dias no ensaio acelerado.....	
Tabela 9 - 3º Teste de Espessura, com 17 dias no ensaio acelerado.....	
Tabela 10 - 4º Teste de Espessura, com 24 dias no ensaio acelerado.	
Tabela 11 - 1º Teste de Rugosidade, com 0 dias no ensaio acelerado.....	
Tabela 12 - 3º Teste de Rugosidade, com 17 dias no ensaio acelerado.	
Tabela 13 - 4º Teste de Rugosidade, com 24 dias no ensaio acelerado.	

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
σ	Desvio padrão
μm	Micrometro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
mL	Mililitro
$^{\circ}\text{C}$	Graus celsius
g/L	Gramas por litros
psi	Libra-força por polegada quadrada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Corrosão	16
<i>2.1.1 Mecanismos de corrosão</i>	16
<i>2.1.2 Classificações e tipos de corrosão</i>	17
<i>2.1.3 Fatores que afetam a velocidade de corrosão</i>	18
<i>2.1.4 Controle e combate à corrosão</i>	19
2.2 Tintas	19
<i>2.2.1 Constituintes das tintas</i>	20
<i>2.2.2 Esquema de pintura</i>	20
<i>2.2.3 Proteções anticorrosivas por meio de tintas</i>	21
<i>2.2.3.1 Proteção por passivação ou barreira eletroquímica</i>	21
<i>2.2.3.2 Proteção por barreira mecânica</i>	21
<i>2.2.3.3 Proteção catódica</i>	21
2.3 Aço	22
<i>2.3.1 Propriedades</i>	22
<i>2.3.2 Tipos e Composição</i>	23
<i>2.3.3 Vantagens de utilizar o aço</i>	24
<i>2.3.4 Aço-carbono SAE 1020</i>	25
2.4 Corrosão no aço-carbono	26
2.5 Transformadores	28
<i>2.5.1 Como funciona um transformador</i>	28
<i>2.5.2 Tipos</i>	29
<i>2.5.3 Durabilidade</i>	29
2.6 Ensaio Acelerados	30
<i>2.6.1 Ensaio acelerado de névoa salina</i>	30
3 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO	33

4 OBJETIVOS	35
4.1 Objetivo Geral	35
4.2 Objetivos Específicos	35
5 MATERIAIS E MÉTODOS	36
5.1 Corpos-de-prova	36
5.1.1 Substrato metálico	36
5.1.2 Sistemas de pintura	36
5.1.3 Identificação dos corpos-de-prova	37
5.2 Microscopia	39
5.2.1 Microscopia Ótica	39
5.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) /Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS)	39
5.2.3 Microscopia Confocal	39
5.3 Ensaio Acelerado de Névoa Salina	40
5.3.1 Caracterização dos corpos-de-prova	42
5.3.1.1 Documentação Fotográfica	42
5.3.1.2 Teste de Espessura	42
5.3.1.3 Teste de Rugosidade	43
5.3.1.4 Teste de Aderência (Pull Off)	44
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	
6.1 Microscopias	
6.1.1 Microscopia Ótica	
6.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) / Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS)	
6.1.3 Microscopia Confocal	
6.2 Ensaio acelerado de névoa salina	
6.2.1 Caracterização dos corpos-de-prova	
6.2.1.1 Documentação Fotográfica	
6.2.1.1.1 Antes de entrar na câmara de ensaio acelerado	

6.2.1.1.2 Com 7 dias (168 horas) na câmara de ensaio acelerado	
6.2.1.1.3 Com 17 dias (397 horas) na câmara de ensaio acelerado	
6.2.1.1.4 Com 24 dias (580 horas) na câmara de ensaio acelerado	
6.2.1.2 <i>Teste de Espessura</i>	
6.2.1.3 <i>Teste de Rugosidade</i>	
6.2.1.4 <i>Teste de Aderência</i>	
7 CONCLUSÃO	47
7.1 Trabalhos futuros	47
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICE	

1 INTRODUÇÃO

A corrosão é um assunto discutido amplamente no mundo todo, pois interfere direta e indiretamente na economia de cada país por conta de reparos e danos em equipamentos e estruturas diminuindo significativamente a vida útil dos materiais. Por estes motivos, há uma preocupação crescente no método de proteção eficiente desses materiais com o desgaste gerado pela corrosão (GENTIL, 2007).

Existem diversas formas de proteções referentes a cada material em questão. Encontram-se proteções por revestimentos metálicos, revestimentos não metálicos inorgânicos e revestimentos não metálicos orgânicos. Uma dessas proteções, muitas vezes as mais procuradas, são as proteções por meio de tintas, que protegem pelo fato de serem utilizadas com várias demãos (camadas), por apresentarem grande impermeabilidade a elementos seletivos ou por conterem em suas composições pigmentos e partículas anticorrosivas (HOCH, 2005).

Um dos grandes problemas enfrentados pelas empresas é a necessidade de reposição de peças ou equipamentos por inteiro a fim de reparar o dano causado por conta da degradação da corrosão, causando paralização para recuperação e/ou substituição de transformadores com consequentes prejuízos financeiros (GENTIL, 2007).

Entender como a corrosão se comporta, para que se possa prevenir e/ou reparar materiais, pode ser feito por simulações em laboratório através de testes eletroquímicos e/ou monitoramentos em cabines fechadas com situações controladas.

Muitas empresas optam por ensaios feitos em laboratórios a fim de constatar por meio de comparação qual o material com melhor eficiência e qual material teria uma maior resistência à corrosão, em período curto. A desvantagem dos ensaios em laboratórios, conhecidos como ensaios acelerados, é que o tempo em que o material passa na câmara do ensaio acelerado não pode ser convertido em tempo real, que seriam horas ou anos em que o material teria de vida útil no meio ambiente. Não é tão eficaz quanto um estudo de campo, porém fornece uma rápida resposta sobre o desgaste do material frente à corrosão num menor tempo (CHAPMAN, 2013).

Visando comparar a eficiência de seus esquemas de pinturas, a empresa da realização do estágio supervisionado do presente trabalho, forneceu corpos-de-prova para que possam ser feitos os ensaios relativos à proteção dessas tintas frente à corrosão. Foi feito então o ensaio de névoa salina em ambiente laboratorial seguindo as instruções ditas pela norma ASTM B 117, estabelecendo um ambiente corrosivo controlado que tem sido

amplamente utilizado para produzir informações sobre resistência relativa contra corrosão para corpos-de-prova de metais e metais revestidos expostos em uma determinada câmara de teste.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Corrosão

A degradação, superficial, de um metal ou liga envolvendo reações de oxidação e de redução transformando o metal ou componente metálico em óxido, hidróxido ou sal chama-se corrosão (SILVA, 2015 e CHIAVERINI, 1986).

A importância de estudar a corrosão se dá pelo fato de que essa degradação afeta a sociedade tanto economicamente como socialmente. Os prejuízos causados se dão de forma direta e indireta. Os custos diretos são aqueles relacionados à substituição de peças ou equipamentos que sofreram corrosão, incluindo-se também a energia e a mão-de-obra bem como os custos e a manutenção dos processos de proteção (proteção catódica, revestimentos metálicos e não-metálicos, pinturas etc.). Já danos indiretos são aqueles que causam paralisações acidentais, perda de produto (perdas de óleo, soluções, gás ou água através de tubulações) (GENTIL, 2007).

2.1.1 Mecanismos de corrosão

A corrosão se diferencia a cerca do tipo de metal e do meio corrosivo ao qual está inserida. Existem, principalmente, dois tipos de mecanismos corrosivos: o eletroquímico e o químico (MERÇON, 2013).

O mecanismo de corrosão eletroquímico acontece em materiais metálicos em contato com um eletrólito. Como em uma pilha, a corrosão dá-se por via de reações com trocas de elétrons. Os elétrons saem do anodo, passam pelo eletrólito até alcançarem o cátodo, ocorrendo então uma saída de íons metálicos na superfície do anodo (GENTIL, 2007 e TOLENTINO, 2015).

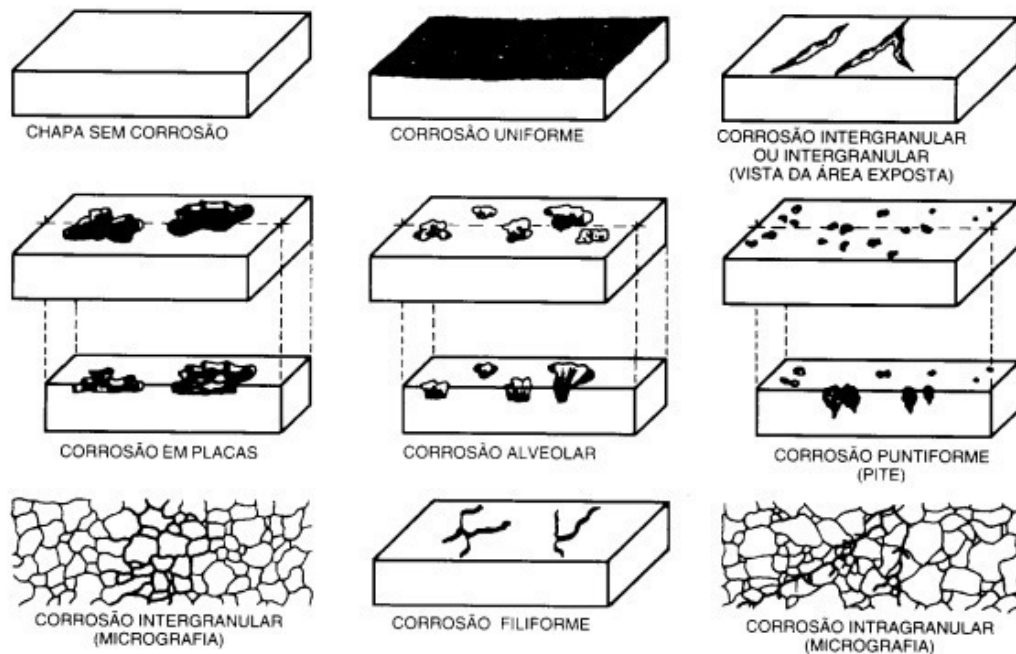
No mecanismo químico não ocorre produção de energia elétrica, o material metálico ou não-metálico reage diretamente com o meio corrosivo. Exemplos de corrosões via mecanismo químico são: reações do metal com monóxido de carbono, com íons de cloreto, reações de formação de organometálicos (GENTIL, 2007 e TOLENTINO, 2015).

2.1.2 Classificações e tipos de corrosão

A corrosão pode-se apresentar de diferentes formas que podem ser classificadas de acordo com a sua aparência ou forma de ataque, diferentes causas e seus mecanismos de corrosão, tais como aeração diferencial, eletrolítica ou galvânica, a fatores mecânicos, a localização do ataque e ainda de acordo com o meio corrosivo, que são a atmosfera, o solo, micro-organismos, água ou sais minerais (GENTIL, 2007).

A figura 01 ilustra os principais tipos existentes de corrosão.

Figura 1 - Ilustrações de tipos de corrosão.



Fonte: Gentil, 2007.

Dentre esses tipos de corrosão, tem-se que:

A corrosão uniforme é um tipo de corrosão que se verifica por toda extensão da superfície, tendo uma perda de massa metálica regular em todo o metal (GENTIL, 2007 e TOLENTINO, 2015).

Já a corrosão em placas se dá apenas em determinadas regiões do metal, tendo uma forma de placas com escavações (GENTIL, 2007 e TOLENTINO, 2015).

Perfurações fundas de formato arredondado, cuja profundidade normalmente é menor que o diâmetro, com estruturas semelhantes a sulcos ou alvéolos, denomina-se de corrosão alveolar (GENTIL, 2007 e TOLENTINO, 2015).

Puntiforme ou pite é a forma de corrosão mais difícil de detectar ocorre em pontos ou pequenas áreas na superfície do metal causando perfurações no metal com profundidade maior que o diâmetro (GENTIL, 2007 e TOLENTINO, 2015).

A corrosão intergranular, ou intercrystalina, ocorre entre os grãos da rede cristalina do metal, comumente por causa do aumento da concentração de um dos metais de liga que ocasiona no acúmulo de impurezas fazendo com que o metal perda suas propriedades mecânicas e sob esforços mecânicos venha a fraturar (GENTIL, 2007 e TOLENTINO, 2015).

Já a corrosão intragranular, conhecida também como transgranular ou transcristalina, ocorre dentro dos grãos da rede cristalina do material metálico sofrendo, assim, perdas de suas propriedades mecânicas e rompendo sob um menor esforço mecânico (GENTIL, 2007 e TOLENTINO, 2015).

A corrosão filiforme se dá em regiões metálicas, revestidas com tintas ou metais, que possuem riscos ou arestas não profundos. Tem o formato de filamentos superficiais que se processam em direções diferentes sem se ultrapassarem (GENTIL, 2007 e TOLENTINO, 2015).

Em torno do cordão de solda é, também, um tipo de corrosão intergranular, que normalmente se observa em aços inoxidáveis com teor de carbono maior que 0,03% (TOLENTINO, 2015).

2.1.3 Fatores que afetam a velocidade de corrosão

A corrosão de metais ou ligas metálicas pode ser influenciada por diversos fatores, como: oxigênio dissolvido, efeito do pH, efeito da temperatura, efeito de sais dissolvidos.

Na água a corrosão de muitos metais se dá pela presença de oxigênio dissolvido. A velocidade de corrosão avança conforme a concentração de oxigênio aumenta. Contudo atinge-se um momento em que a concentração diminui, por conta da formação do óxido metálico que irá se depositar na superfície do eletrodo. Determinados metais nas faixas de pH entre 4 e 10 não têm sua velocidade de corrosão modificada. Entretanto em pH abaixo de 4, a velocidade de corrosão aumenta, possivelmente devido ao íon H^+ se reduzir além do O_2 contido no meio. O processo de corrosão é acelerado, também, pelo aumento da temperatura, pois reduz a polarização e aumenta a condutividade do eletrólito, facilitando a passagem da corrente. Outro fator que afeta a velocidade de corrosão são os sais dissolvidos que ao aumentarem a velocidade de corrosão aumentam a condutividade da solução e podem também reduzir a velocidade se forem capaz de se depositar sobre a superfície do material

(TOLENTINO, 2015).

2.1.4 Controle e combate à corrosão

Os custos provindos dos prejuízos da corrosão são altos, ocasionam contaminação de produtos, paralisação de produção para manutenção de equipamentos, perda de equipamentos, acidentes de trabalho, mortes, dentre outros, daí a importância da prevenção e do combate à corrosão. Tendo conhecimento do mecanismo de corrosão, da composição da liga metálica e do meio corrosivo pode-se sugerir o melhor tipo de metal para determinado meio ou inibidores que irão desacelerar a velocidade de deterioração do metal (GENTIL, 2007 e TOLENTINO, 2015).

Com isso, é capaz de propor alterações nos métodos de produção, na composição do meio corrosivo, na liga metálica ou no uso de revestimentos. Os revestimentos são películas empregadas para proteção no combate à corrosão, são conhecidos como: revestimento metálico, revestimento não metálico orgânico e revestimento não metálico inorgânico. A fim de agregar uma maior resistência do material ao atrito, à oxidação, à corrosão e maior dureza bem como para fins decorativos utiliza-se o revestimento metálico. Para a aplicação de revestimentos metálicos precisa-se de metais que formem óxidos ou hidróxidos que atue como uma película protetora ou que funcionem com altos valores de sobretensão e sobrevoltagem. Para isso, faz uso das técnicas de: cladização, imersão a quente, aspersão térmica, eletrodeposição, cementação, redução química. Para revestir com materiais não metálicos inorgânicos precisa-se de conhecimento a cerca do meio corrosivo e da temperatura do processo, como revestimento não metálico inorgânico utilizam-se vidros, porcelanas, cimentos, óxidos, carbetos, boretos e silicetos. A anodização e a cromatização são os revestimentos formados a partir dessa técnica. E os revestimentos não metálicos orgânicos são as tintas, comumente utilizadas por conta do seu baixo custo, da facilidade de aplicação e pelo acabamento estético que proporciona a peça. O que determina a eficiência da tinta é uma boa preparação da pintura e sua manutenção, para que não ocorram falhas como empolamento, fratura e descascamento (TOLENTINO, 2015).

2.2 Tintas

As tintas são revestimentos não metálicos orgânicos, formadas por misturas cuja

composição é: veículo não volátil, veículos voláteis, aditivos, pigmentos e solventes (TOLENTINO, 2015 e ASHBY, 2006).

Incumbidos por juntar as partículas do pigmento e por formar a película após a evaporação do solvente, os componentes voláteis podem ser óleos vegetais ou resinas. Os solventes têm como função misturar pigmentos e aditivos no veículo não volátil. Existem vários tipos de aditivos usados na produção de tintas para secar, plastificar, evitar formação de espumas, agir como antifúngicos etc. As películas formadas pelas tintas impossibilitam a corrosão por passivação, por barreira mecânica ou por proteção catódica (TOLENTINO, 2015).

2.2.1 Constituintes das tintas

Os constituintes de uma tinta, principalmente líquida, são: veículo fixo, solventes (veículo volátil), aditivos e pigmentos. Para tintas em pó não são usados solventes e para vernizes não são utilizados os pigmentos (GENTIL, 2007).

Veículo fixo é também conhecido como veículo não volátil, exemplos: óleos vegetais (soja, tungue, linhaça etc.), resinas alquídicas, resinas acrílicas, resinas epoxídicas, resinas poliuretânicas. Solventes são chamados de veículos voláteis, exemplos: hidrocarbonetos alifáticos, hidrocarbonetos aromáticos, ésteres, álcoois, cetonas, glicóis, solventes filmógenos. Já os aditivos tem como exemplos: secantes, anti-sedimentares, antinata ou antipele, plastificantes, nivelantes, antipumantes, agentes tixotrópicos, antifungos (GENTIL, 2007).

2.2.2 Esquema de pintura

O esquema de pintura é um procedimento de proteção de uma estrutura ou um equipamento que vai desde a preparação e limpeza da superfície do material, aplicação das tintas primer, intermediária e de acabamento, espessura e aplicação de cada demão de tinta, retoques na pintura, ensaios de controle de qualidade até as normas que devem ser seguidas para padronização de cada atividade (GENTIL, 2007).

Um esquema de pintura anticorrosivo se constitui de três aplicações de tintas: tinta primer, tinta intermediária e tinta de acabamento. Por vezes não se faz necessária o uso da tinta intermediária, sendo substituída por mais demãos da tinta primer ou da tinta de

acabamento. Primer, também conhecida como tinta de fundo ou tinta primária é a tinta que entra em contato direto com o substrato. Sendo está responsável por conter os pigmentos anticorrosivos e ser mais aderente ao substrato. A tinta intermediária é aplicada com o objetivo de se conseguir uma película mais espessa com um número menor de demãos. Já a tinta de acabamento é a tinta que entra em contato direto com o meio corrosivo, devendo conferir certa resistência química ao material além de lhe proporcionar uma cor final (GENTIL, 2007).

2.2.3 Proteções anticorrosivas por meio de tintas

2.2.3.1 Proteção por passivação ou barreira eletroquímica

A passivação do aço ou barreira eletroquímica faz uso de pigmentos anticorrosivos que retardam a corrosão. Impossibilitando que os óxidos e hidróxidos que se formam neste procedimento tenham mobilidade iônica suficiente para suportar o mecanismo eletrolítico que causa a corrosão. Os pigmentos comumente usados neste procedimento são: óxido de chumbo, chamado de zarcão; cromato de zinco, cálcio etc.; metaboratos e fosfatos de zinco e de outros metais leves; óxido de ferro vermelho (HOCH, 2005).

2.2.3.2 Proteção por barreira mecânica

A barreira mecânica nada mais é do que a utilização de tintas que apresentam alta impermeabilidade, dependendo do tipo e espessura do filme. Resguardam o substrato da ação corrosiva por uma simples barreira mecânica (independente do número de demãos), barrando, essencialmente, a entrada de oxigênio e água até a base da pintura. Um inconveniente desse tipo de proteção é que o filme tem que ser perfeito, não apresentando ranhuras, bolhas, áreas de menor espessura etc. Em locais que se requer uma extrema proteção, como porões de navios e fundos de tanques, costuma-se aplicar tintas epóxi, alcatrão/epóxi, pois possuem altíssimo poder de impermeabilização (HOCH, 2005).

2.2.3.3 Proteção catódica

A corrosão é um processo que acontece em áreas que se tornam anódicas. Para

prevenir a deterioração de materiais protege-se a área em questão tornando-a catódica em relação à área anódica do mesmo. Esse tipo de proteção faz-se uso comumente em navios, soldam-se pedaços de zinco em seu casco imerso na água. O zinco, que é um metal menos nobre, servirá de ânodo de sacrifício (HOCH, 2005).

2.3 Aço

Os metais são elementos que possuem alta condutividade elétrica e térmica, além de apresentarem determinado brilho, é sólido a temperatura ambiente exceto o mercúrio (BROWN, 2016). Exemplos de metais são: alumínio, chumbo, cobre, estanho, ferro, magnésio, níquel, zinco etc. Relacionado ao ferro tem-se o aço e o ferro fundido. O aço é uma substância metálica constituída por dois ou mais elementos metálicos onde o ferro é o constituinte principal, possui também carbono em sua composição e contém quantidades residuais de manganês, silício, estanho e fósforo. Estes elementos químicos são igualmente conhecidos como elementos de liga, ajudam a fortalecer as propriedades mecânicas e a proteger à corrosão. O aço também é chamado de liga de aço ou liga ferrosa. Encontram-se muitos tipos de ligas metálicas que se diferenciam por sua composição e/ou tratamento térmico. Um dos elementos de grande importância dessas ligas é o carbono pelo motivo de influenciar diretamente nas propriedades mecânicas intervindo na sua dureza, ductilidade, tenacidade, usinabilidade etc. Por conta do processo de fabricação dos aços, em sua composição há também teores de impurezas, mas estas se apresentam apenas em concentrações residuais. Os aços são classificados, principalmente, levando em consideração a concentração de carbono utilizada na sua fabricação, porém não se deixa de importar-se com as concentrações específicas de outros elementos de liga. (CALLISTER, 2012).

2.3.1 Propriedades

É de fundamental importância o conhecimento das propriedades dos metais para que se tenha uma escolha do aço mais adequado em um dado projeto. Existem muitas propriedades dos metais as quais demonstram o quão resistente e durável o aço é com o tempo. A seguir serão abordadas sucintamente algumas propriedades como: dureza, soldabilidade, tenacidade, usinabilidade, fadiga e ductilidade (CALLISTER, 2012).

Dureza é o quanto resistente se mostra a superfície do metal ou liga metálica

frente a risco ou abrasão provindo de um material que possui uma dureza maior (FERRAZ, 2005).

Soldabilidade é a capacidade que o material demonstra em ser soldável, num processo que utiliza uma temperatura requerida a fim de obter uma coalescência localizada (ADLER, 2003 e FONSECA, 2017).

Tenacidade é a capacidade que um material tem de absorver uma energia total até sua ruptura (FERRAZ, 2005).

Usinabilidade é a interação das propriedades metalúrgicas com o processo de usinagem (MESQUITA, 2005).

Fadiga é um tipo de ruptura que ocorre com o material submetido a esforços repetidos ou cíclicos (FERRAZ, 2005).

Ductilidade é a flexibilidade que o material possui antes de um aviso prévio de quebra ou a própria quebra, quando tensionados sofrem deformações que redistribuem tensões (CORTEZ, 2017).

2.3.2 Tipos e Composição

O aço é encontrado como aço carbono ou aço inox, a principal diferença é que na composição do aço carbono o elemento de maior relevância é o carbono e no aço inox é o cromo (CALLISTER, 2012 e FERRAZ, 2005).

O aço carbono se divide em: aço baixo carbono, aço médio carbono, aço alto carbono. Um dos elementos de grande importância dessas ligas é o carbono pelo motivo de influenciar diretamente nas propriedades mecânicas intervindo na sua dureza, ductilidade, usinabilidade etc. (CALLISTER, 2012).

O aço baixo carbono contém a quantidade mais baixa de carbono, significando que é um aço com uma baixa dureza consequentemente baixa resistência, porém alta ductilidade e tenacidade sendo também usinável e soldável. Este aço é um dos mais procurados tanto por não ser preciso tratamento térmico quanto pelo fato do seu baixo custo de confecção. O aço médio carbono, como o próprio nome diz, apresenta uma quantidade mediana de carbono em sua composição. Possui uma baixa ductilidade e tenacidade o que o faz apresentar uma maior dureza e resistência quando comparado ao aço baixo carbono. Já o aço alto carbono possui uma porcentagem bem maior de carbono em sua constituição fazendo com que seja mais resistente e duro, mas apresenta menor ductilidade (RODRIGUES, 2014).

O aço inox ou também chamado de aço inoxidável é uma liga metálica

extremamente resistente à corrosão (dentre muitos meios), à abrasão, ao impacto e exibe boa durabilidade. O seu principal elemento químico, elemento de liga, é o cromo e deve ser apresentado com uma concentração de no mínimo 11% de cromo (CALLISTER, 2012 e FERRAZ, 2005).

Os aços inoxidáveis são ligas ferro-cromo que se dividem em: austenítico, martensítico e ferrítico. O aço inox austenítico é composto por altos teores de cromo e níquel, cerca de 18% de cromo, 8% de níquel e um baixo teor de carbono. Essa sua composição o faz ser o aço inox mais procurado no mundo, apresenta uma alta resistência à corrosão, resistência mecânica, uma boa soldabilidade, boa conformidade e ótima durabilidade. O aço inox ferrítico possui de 12% a 17% de cromo, é um alto teor de cromo mas possui uma porcentagem de cromo menor quando relacionado ao aço austenítico. Em meios menos agressivos se mostra com uma boa resistência à corrosão, boa ductilidade e uma plausível soldabilidade. Já o aço inox martensítico possui, também, altos teores de cromo porém baixos teores de níquel. (CALLISTER, 2012; FERRAZ, 2005; CAMPBELL, 2007 e FONSECA, 2017).

O aço inoxidável se distingue do aço carbono por conta da sua grande resistência a corrosão. No processo de corrosão do aço inox há uma reação do cromo com o oxigênio do ar que forma uma película superficial como produto da reação. À medida que essa película é rompida, independentemente das causas, logo em seguida a mesma se reestrutura na presença do oxigênio formando um óxido protetor (FERRAZ, 2005).

2.3.3 Vantagens de utilizar o aço

As vantagens da utilização do aço quando comparado a outros materiais são inúmeras. O aço é um material que possui certa facilidade ao transportar por conta de sua leveza. Usa-se muitas peças pré-fabricadas o que promove uma redução de até 40% no tempo de execução de uma obra. É também um material bastante reciclável, o que proporciona cada vez mais uma redução nos resíduos gerados por peças de aço. Além de dispor de excelentes propriedades mecânicas o aço apresenta uma beleza arquitetônica em cada projeto. Peças formadas por aço podem ser encontradas em edifícios, pontes, aeroportos, indústrias ferroviárias, indústrias automobilísticas, indústrias navais, indústrias aeronáuticas etc. (CALLISTER, 2012; FERRAZ 2005; RODRIGUES, 2014; CORTEZ, 2017).

2.3.4 Aço-carbono SAE 1020

O aço carbono SAE 1020 é o aço utilizado no presente trabalho. A escolha desse aço decorre de diversos fatores, além das características do aço carbono um fato importante é seu baixo custo (JOSÉ, 2019). Aços SAE 1020, figura 2, são aços que possuem atributos como boa soldabilidade, boa plasticidade, baixa resistência mecânica e baixa usinabilidade. Este aço também é amplamente aplicado com cementação, fornecendo um custo benefício melhor do que os outros aços com semelhante intuito (AÇOSPORTE, 2019). Cementação é um tratamento térmico de inserção de carbono na superfície do metal para aumentar sua dureza (CHIAVERINI, 1988).

Figura 2 - Aço carbono SAE 1020.



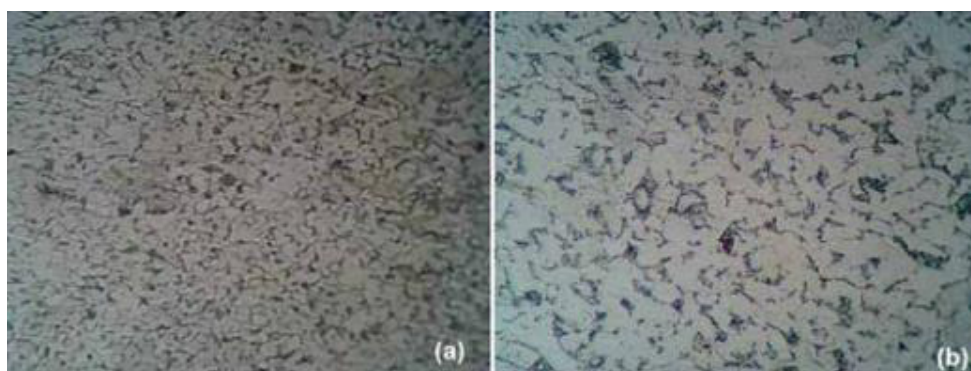
Fonte: Aços Porte, 2019.

Para uma melhor comunicação a respeito dos aços utilizam-se classificações a fim de universalizar essa linguagem. A classificação mais usual é o SAE-AISI, onde o aço-carbono faz uso do grupo 10XX em que o conteúdo de carbono no aço é representado pelos dois últimos dígitos. No caso do aço carbono SAE 1020 o número vinte indica que este aço possui 0,20% de carbono, indicando que é um aço baixo carbono (RODRIGUES, 2014 e CALLISTER, 2012).

Um bom conhecimento acerca do material, propriedades mecânicas, bem como sobre sua aplicação resulta na facilidade de manutenção econômica e um retardamento da vida útil das estruturas (MARTÍNEZ, 2018). O aço carbono SAE 1020 tem aplicabilidade em: transformadores, chapas automobilísticas, placas para fabricação de tubos, construção civil, pontes, latas de folhas de flandres etc. (RODRIGUES, 2014). Bem como seu uso também é

requerido para itens mecânicos como: engrenagens, eixos, virabrequins, eixos-comando, pinos guia, anéis de engrenagem, colunas, catracas, capas. Além de ser indicado para parafusos, trefilados duros, chassis, discos de roda, peças para máquinas e veículos sujeitos a trabalhos de baixa e média intensidades (AÇOSPORTE, 2019). Abaixo pode ser observado uma micrografia do aço carbono SAE 1020, figura 3 (a) e (b), por meio de microscopia óptica, sob aumentos de 20X e 40X. Onde se observa a microestrutura granular do aço e seus microconstituintes a ferrita e a perlita (RODRIGUES, 2014).

Figura 3 - Micrografia do aço carbono SAE 1020: (a) 20X e (b) 40X.



Fonte: Rodrigues, 2014

2.4 Corrosão no aço-carbono

Como o material do presente trabalho trata-se de um aço-carbono, iremos tratar da corrosão em aço-carbono neste tópico. A corrosão ocorre no ferro e em muitas ligas ferrosas como os aços-carbono quando expostos à atmosfera ou submersos em águas naturais (SILVA, 2015). Segundo a ABNT NBR NM 87 (2000) “os aços-carbono comuns contêm mais de 97% de Fe, até 2% de C e outros elementos remanescentes do processo de fabricação”.

O fenômeno da corrosão dos aços-carbono provém da reação do oxigênio, presente na atmosfera, à temperatura ambiente, com o metal, estando à superfície recoberta por uma película de água e agentes poluentes dissolvidos, chamados, em conjunto, de eletrólito (PANNONI, 2015).

A oxidação do $Fe_{(s)}$ ocorre porque este elemento é termodinamicamente instável na presença de $O_{2(g)}$ e o ar é o meio no qual estes materiais estão mais frequentemente expostos (BROWN, 2005). A atividade simultânea do $O_{2(g)}$ e $H_2O_{(g)}$, na atmosfera, torna o ambiente (que reage com os aços-carbono) mais agressivo formando uma camada porosa de produtos de corrosão conhecida como ferrugem. Constituindo-se principalmente por uma

mistura de diferentes fases de FeOOH (amorfa, goetita, lepidocrocita, etc.), contudo sua composição pode mudar de acordo com as condições climáticas e o teor de poluentes (SO₂, NO₂, etc.) (ABNT NBR 14643, 2001).

A condensação do vapor, em regiões de média e alta umidade relativa, forma uma película de água que cobre parcialmente ou totalmente a superfície do metal produzindo assim uma pilha de corrosão (SILVA, 2015).

A presença de água (equação 1) é requerida na reação de formação destes oxihidróxidos, assim como os hidróxidos e sais básicos, assim sendo, a umidade relativa do ar tem grande função na formação e crescimento da película de ferrugem. Na ocorrência simultânea dessas reações a transferência de elétrons se dá através do aço, de uma região anódica onde acontece a oxidação do Fe(s) (equação 2) até uma região catódica onde acontece a redução do O₂(g) (equação 3). Assim, a formação da oxidação, conhecida como ferrugem, pode ser resumidamente representada pela equação 4. A figura 4 ilustra os processos que ocorrem na oxidação atmosférica do aço-carbono (ALMEIDA, 1999, GEMELLI, 2001 e SILVA, 2015).

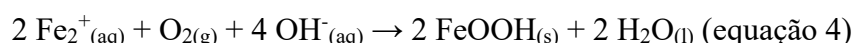
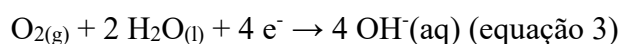
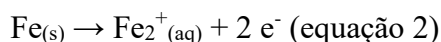
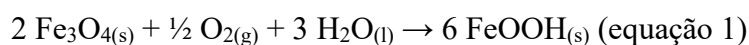
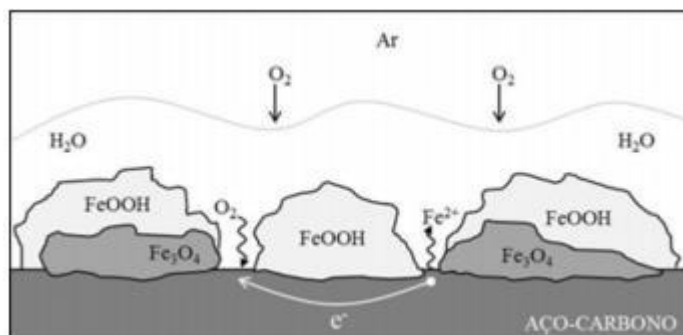


Figura 4 - Esquema de corrosão atmosférica no aço carbono.



Fonte: (Silva *et al.*, 2015).

A partir disto recomenda-se que a superfície dos aços-carbono deve ser protegida da atmosfera e devem-se, sempre que possível, procurar uma metodologia alternativa para que não favoreça o avanço da reação anódica ou catódica, porque assim diminuirá a velocidade da

reação de corrosão. Geralmente, os métodos comumente utilizados em proteção é o recobrimento da superfície com um revestimento metálico, inorgânico, orgânico ou superposição destes com a intenção de isolar o material do meio (SILVA, 2015, GENTIL, 2011 e TOLENTINO, 2015).

2.5 Transformadores

O transformador é uma máquina que tem a capacidade de transformar energia elétrica de um nível de tensão em energia elétrica de outro nível de tensão. É um dispositivo que depende da ação do campo magnético para que aconteçam mudanças no nível de tensão, o mesmo ocorre com geradores e motores (CHAPMAN, 2013 e SIMONE, 2017).

Um transformador é um instrumento que converte, por intermédio da ação do campo magnético, a energia elétrica de uma dada frequência e nível de tensão em energia elétrica de mesma frequência, mas em outro nível de tensão. A conversão da energia mecânica ou energia térmica em energia elétrica permite que esta energia elétrica seja transmitida por grandes distâncias até alcançar o local de destino podendo ser usada de forma limpa em casas, escritórios e indústrias diminuindo, assim, as perdas energéticas entre o local onde ocorre a produção da energia elétrica e o local de sua utilização (CHAPMAN, 2013 e ABNT NBR 5456, 2016).

2.5.1 Como funciona um transformador

Um transformador é formado por bobinas, núcleo, enrolamentos, tanque principal etc., constitui-se de um sistema de duas ou mais bobinas de fio, normalmente não ligadas entre si, enroladas no entorno de um núcleo ferromagnético comum (BECHARA, 2010 e CHAPMAN, 2013). No interior do núcleo há um fluxo magnético comum fazendo a conexão entre as bobinas. Há, também, os enrolamentos, onde um é ligado a uma fonte de energia elétrica e um segundo enrolamento, ou terceiro, fornece a energia às cargas. O primeiro enrolamento, ligado a energia elétrica, é chamado de enrolamento primário ou enrolamento de entrada e o segundo enrolamento, ligado às cargas, é chamado de enrolamento secundário ou enrolamento de saída. No caso da existência de um terceiro enrolamento, este é denominado enrolamento terciário (CHAPMAN, 2013).

2.5.2 Tipos

Transformadores são máquinas de diversos tamanhos e funcionalidades, há transformadores: de corrente, de potencial, de distribuição, de força e elevador e abaixador de tensão. Podem ser classificados de acordo com: a finalidade com que irão ser utilizados; o número de bobinas se será primária, secundária ou se será um autotransformador (contém somente uma bobina); o material do núcleo se é ferromagnético ou núcleo de ar; o número de fases, sendo monofásico, trifásico ou polifásico (BECHARA, 2010).

Transformadores de corrente ou transdutores têm como função reduzir as correntes primárias do sistema em baixos valores bem como prover isolamento galvânica entre a rede elétrica e os demais instrumentos conectados ao rolamento secundário do transformador de corrente (COURY, 2006).

Transformadores de potência elevam ou reduzem a tensão de transporte, de distribuição e de consumo de energia elétrica. Seu destaque está na diminuição das perdas por efeito Joule e redução da secção, do peso e da despesa das linhas de transporte (ABNT NBR 5356, 2016 e AWD, 2019).

O transformador de distribuição rebaixa a tensão da energia gerada para um certo nível de utilização do consumidor final (STOCCO, 2009).

Transformadores elevadores são compostos, geralmente, por dois enrolamentos. São utilizados para elevar o nível de tensão produzida pelos geradores operando com sistema de *tap* sem tensão, com um enrolamento específico ou por meio de derivações no enrolamento de alta tensão (BECHARA, 2010).

2.5.3 Durabilidade

A despesa total de um transformador tem que ser vista englobando muitos fatores, como o preço de comércio, o valor das perdas de energia, custo de manutenção e reparos ao longo da vida útil, valor da energia elétrica fornecida pela companhia elétrica e sua desvalorização de mercado (LEISINGER, 2009 e SILVA, 2012). Geralmente esses transformadores duram cerca de 20 anos (SILVA, 2012). Porém é preciso uma constante manutenção nos transformadores, pois embora bem pensados em seus projetos iniciais, ainda assim, os transformadores podem apresentar diversos defeitos como: de fabricação, sobretensões, deterioração dos materiais isolantes, deformação mecânica dos enrolamentos por esforços de curto-circuito, falhas de acessórios e componentes, falha de comutadores,

falha de buchas, falha de conexões, manutenção inadequada ou inexistente, ataque corrosivo etc. (BECHARA, 2010 e SILVA, 2012).

2.6 Ensaios Acelerados

A corrosão pode ser observada e estudada de diferentes formas: no campo (meio ambiente a céu aberto) ou em laboratório.

O monitoramento de corrosão mais eficaz é o ensaio de campo, pois retrata a realidade do meio ambiente em que vivemos, nele estão contidas todas as intempéries reais: períodos chuvosos, períodos de estiagem, ventanias que podem arrastar partículas de poluição, deposições de excrementos de animais, orvalho etc. O lado não tão positivo desse ensaio é que é um ensaio demorado que leva anos para que se tenha uma boa avaliação do desgaste causado por corrosão, quanto mais tempo se passam, meses ou anos, mais preciso será o estudo de campo.

Por conta da demora do ensaio de campo opta-se por realizar ensaios mais curtos, chamados ensaios de laboratório. Esses ensaios feitos em laboratório são ensaios acelerados que seguem normas técnicas, nacionais e internacionais, que ditam como se deve proceder. Desde a construção do equipamento, parâmetros a serem seguidos durante o ensaio, como deve estar o material a ser analisado, período de permanência do material na câmara e até que análises devem ser realizadas com o decorrer do ensaio e também ao término do ensaio. Esses ensaios ocorrem em cabines fechadas e simulam o efeito da corrosão em um tempo menor. Simulam ambientes marinhos (ensaio acelerado de névoa salina), ambientes industriais (ensaio acelerado com enxofre, SO₂), ambientes com radiação de luz solar (ensaio acelerado com radiação de luz UV), ambientes com muita umidade (ensaio acelerado de umidade relativa) etc. O intuito do ensaio acelerado não é simular em quanto tempo o material duraria em ambiente corrosivo controlado convertendo em horas ou anos para o ambiente natural e sim avaliar a eficiência de matérias frente ao ataque corrosivo.

2.6.1 Ensaio acelerado de névoa salina

O ensaio acelerado realizado no presente trabalho foi o de névoa salina que se baseia na norma ASTM B 117. Esta norma aborda sobre os equipamentos, procedimentos, condições necessárias para criar e manter um ambiente de teste de pulverização (nebulização)

salina. A norma ASTM B117 tem como documentos de referência as seguintes normas: ASTM B 368, ASTM D 609, ASTM D 1193, ASTM D 1654, ASTM E 70, ASTM E 691, ASTM G 85.

Vale salientar que os resultados obtidos por nebulização salina são esporadicamente correlacionados com uma previsão do comportamento em ambientes naturais (ASTM B 117, 2003).

O ensaio acelerado de névoa salina é composto por um equipamento formado por uma câmara de névoa, um reservatório de solução salina, um suprimento de ar comprimido devidamente condicionado, um ou mais bicos pulverizadores, suportes para corpos-de-prova, dispositivo para aquecimento da câmara, e os meios de controle necessários (ASTM B 117, 2003).

Para determinar o desenvolvimento de corrosão em uma área esfolada da pintura ou revestimento orgânico, uma arranhadura ou linha riscada é feita através do revestimento com um instrumento pontudo (definido conforme o método de Teste D 1654), de forma a expor o metal subjacente antes do ensaio. As bordas cortadas dos materiais chapeados, revestidos ou duplex, e as áreas contendo marcações de identificação ou em contato com os cavaletes ou suportes, são protegidas com um revestimento apropriado estável sob as condições do processo. Os corpos-de-prova são suportados ou suspensos entre 15° e 30° da vertical, e preferivelmente paralelos à direção principal do fluxo da névoa através da câmara, baseado na superfície dominante sendo testada. Os corpos-de-prova são preferivelmente apoiados pela base ou pela lateral (ASTM B 117, 2003).

A solução salina é preparada dissolvendo-se 5 ± 1 partes por massa de cloreto de sódio em 95 partes de água (do tipo IV da especificação D 1193). O teor químico do sal merece cuidado especial. O sal usado é cloreto de sódio com não mais de 0,3% por massa de impurezas totais. O pH da solução salina é tal que, quando pulverizada a 35°C (95°F), a solução coletada obedece a uma faixa de pH de 6,5 a 7,2. Para o controle do fluxo de solução colocam-se pelo menos dois coletores de névoa limpos por torre de aspersão dentro da zona de exposição, de forma a que nenhuma gota da solução seja coletada pelos corpos-de-prova ou qualquer outra fonte. A névoa é tal que, para cada 80 cm² de área de coleta horizontal, são coletados de 1,0 a 2,0 mL da solução por hora baseado em um funcionamento médio de pelo menos 16 h. Os dispositivos coletores apropriados são funis de vidro ou plástico com os bicos inseridos através de tampas dentro de cilindros graduados, ou pratos de cristalização. O bico ou bicos são direcionados ou defletidos de tal forma que a solução espargida não caia diretamente sobre os corpos-de-prova (ASTM B 117, 2003).

Para o bom desempenho do ensaio recomenda-se que a câmara seja fechada e a pulverização esteja funcionando interruptamente exceto pelos curtos intervalos diários necessários para inspecionar, rearranjar ou remover amostras, para checar e reencher a solução no reservatório, e para fazer os registros necessários. As operações são programadas de forma a que estas interrupções sejam reduzidas a um mínimo. Sugere-se que o período de exposição estabelecido seja períodos múltiplos de 24 horas (ASTM B 117, 2003).

Depois de decorrido esse tempo, os corpos-de-prova são removidos cuidadosamente e ligeiramente lavados ou banhados em água corrente limpa com temperatura não superior a 38°C (100°F) a fim de remover depósitos salinos da superfície, e então imediatamente secos. Finalizando por realizar um exame cuidadoso e imediato conforme prescrito nas especificações relativas ao material ou produto sob testes, ou de acordo com mútuo entendimento entre o comprador e o fornecedor (ASTM B 117, 2003).

3 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

A empresa AWD Energia é uma prestadora de serviços e manutenção de equipamentos elétricos bem como também distribuidora autorizada das empresas ITAM Transformadores Amazonas, HEIMER Grupos Geradores, CG Power, BRASPEL, STOCK Perfil atuando no segmento de construção civil e no segmento de energia. Com produtos como: eletrocalhas, transformadores a seco, transformadores a óleo (Transformadores de Distribuição Monofásico e Trifásico, Transformadores de Potência), grupo geradores, disjuntores, subestações móveis, transformador de potência, transformadores de corrente, para-raios.

A empresa AWD Energia tem sofrido perda de transformadores por conta de danos em seus equipamentos. Esses danos são provenientes da corrosão que degrada principalmente a carcaça externa que protege as peças do transformador diminuindo drasticamente o tempo de vida útil desses transformadores.

Como motivação, esse trabalho visa realizar um estudo da eficiência dos esquemas de pinturas utilizados pela empresa para proteção da carcaça dos transformadores revendidos pela empresa AWD Energia.

Sendo assim, foi feito um estudo dos dois tipos de carcaça dos transformadores revendidos, um que se destina a orla marítima e outro que se destina ao uso em geral na cidade (chamado de padrão). A principal diferenciação desses revestimentos se dá de acordo com os tipos de tintas estabelecidas para revestir este aço. Essa avaliação se dará pelo monitoramento da corrosão através de ensaio acelerado de névoa salina, seguindo a norma ASTM B 117.

De acordo com a figura 5, é possível observar a carcaça de proteção de transformadores de uso padrão. E de acordo com a figura 6, é possível observar a carcaça de proteção de transformadores utilizados na orla marítima. É notável que a variação de cor na estrutura de revestimento possui tonalidades diferentes entre a proteção encontrada na orla marítima e na orla padrão.

Figura 5 - Transformador de distribuição revendido pela empresa AWD Energia para uso padrão, na Universidade Federal do Ceará.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 6 - Transformadores de distribuição revendidos pela empresa AWD Energia para uso na orla marítima.



Fonte: AWD, 2019.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de proteção corrosiva das tintas aplicadas sobre os substratos metálicos presentes nas caixas de proteção dos principais tipos de transformadores de energia utilizados no estado do Ceará.

4.2 Objetivos Específicos

- Monitorar através de ensaio acelerado de corrosão de névoa salina (salt spray) corpos-de-prova das peças da empresa com e sem revestimento;
- Analisar a superfície acompanhando a degradação do corpo-de-prova por meio da observação de sua cor, textura, distribuição, profundidade do ataque da corrosão, rugosidade e espessura;
- Analisar a superfície por microscopia ótica, microscopia confocal e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
- Analisar a composição por Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Corpos-de-prova

5.1.1 *Substrato metálico*

Foram utilizadas chapas, com dimensões 100 mm x 150 mm, de material aço carbono SAE 1020 comprados como chapa fina quente da empresa Aço Cearense Fortaleza.

O tratamento da superfície do aço carbono SAE 1020 foi com jateamento de areia.

Os corpos-de-prova foram protegidos, nas bordas, por uma fita amarela para que não tivessem corrosão preferencial em suas laterais.

5.1.2 *Sistemas de pintura*

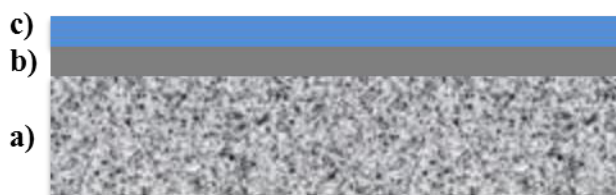
Foram preparados 12 corpos-de-prova, por sistema previamente definido pela empresa fornecedora, sendo cedidos corpos-de-prova de proteção padrão e proteção adequada à exposição em ambiente marinho, a figura 7 e a figura 8 ilustram esses esquemas de pintura. A pintura foi realizada nas dependências da empresa ITAM (Indústria de Transformadores Amazonas) em Amazonas, por meio de pistola. As informações dos produtos comerciais utilizados estão descritas na tabela 1.

Figura 7 - Esquema de pintura utilizada para transformadores padrões, (a) aço carbono SAE 1020, (b) tinta primer na cor vermelho escuro e (c) tinta de acabamento na cor cinza claro.



Fonte: Autora.

Figura 8 - Esquema de pintura utilizada para transformadores destinados à orla marítima, (a) aço carbono SAE 1020, (b) tinta primer na cor cinza escuro e (c) tinta de acabamento na cor azul.



Fonte: Autora.

Tabela 1 - Esquemas de pintura utilizados para corpos-de-prova com substrato metálico de aço carbono SAE 1020.

(Dados não divulgados pela Autora)

Fonte: Autora.

Após completa cura dos sistemas de pintura, os corpos-de-prova foram embalados em papel manteiga, evitando o contato de um com o outro e que ocorressem processos de oxidação nas chapas, e assim, enviados para a empresa AWD Energia em Fortaleza.

5.1.3 Identificação dos corpos-de-prova

A identificação dos corpos-de-prova pintados, utilizados no ensaio acelerado, foi feita por meio de um sistema alfanumérico, como mostrado a seguir: na nomenclatura de cada amostra há duas sequências de letras, como pode ser observado na tabela 2. Na primeira sequência de letras a primeira letra corresponde se é tinta primer ou tinta de acabamento (P ou A); a segunda letra indica qual a cor da chapa (C para cinza, A para azul ou V para vermelha); a terceira/quarta letra indica se é um transformador padrão ou um transformador destinado a orla marítima (P ou OM). Quanto à identificação dos corpos-de-prova metálicos, sem pintura, foi feita utilizando o próprio nome do aço: Aço SAE 1020.

Já a segunda sequência de letras serve para diferenciar as amostras que foram para o ensaio acelerado, referindo-se a qual ensaio acelerado aquela chapa foi submetida: ENS para ensaio acelerado de névoa salina. Os números ao final de cada nomenclatura se referem ao número dos corpos-de-prova, visando realizar os experimentos em duplicatas. O mesmo se repetiu para os corpos-de-prova metálicos, sem pintura, aço carbono SAE 1020.

Tabela 2 - Nomenclatura dos corpos-de-prova utilizados no ensaio acelerado de névoa salina.

Corpos-de-prova pintados	Nomenclatura
Chapa com tinta de primer e de Acabamento, na cor Cinza para transformador Padrão utilizada em Ensaio acelerado de Névoa Salina amostra 1	ACP ENS 1
Chapa com tinta primer e de Acabamento, na cor Cinza para transformador Padrão utilizada em Ensaio acelerado de Névoa Salina amostra 2	ACP ENS 2
Chapa com tinta Primer na cor Vermelha para transformador Padrão utilizada em Ensaio acelerado de Névoa Salina amostra 1	PVP ENS 1
Chapa com tinta Primer na cor Vermelha para transformador Padrão utilizada em Ensaio acelerado de Névoa Salina amostra 2	PVP ENS 2
Chapa com tinta primer e de Acabamento, na cor Azul para transformador da Orla Marítima utilizada em Ensaio acelerado de Névoa Salina amostra 1	AAOM ENS 1
Chapa com tinta primer e de Acabamento, na cor Azul para transformador da Orla Marítima utilizada em Ensaio acelerado de Névoa Salina amostra 2	AAOM ENS 2
Chapa com tinta de Primer na cor Cinza para transformador da Orla Marítima utilizada em Ensaio acelerado de Névoa Salina amostra 1	PCOM ENS 1
Chapa com tinta de Primer na cor Cinza para transformador da Orla Marítima utilizada em Ensaio acelerado de Névoa Salina amostra 2	PCOM ENS 2

Fonte: Autora.

5.2 Microscopia

5.2.1 Microscopia Ótica

Os corpos-de-prova foram cortados em uma cortadora à disco com lubrificante a frio, na Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC). Para o tratamento da superfície dos corpos-de-prova, os mesmos foram lixados com lixas de 220, 360, 400 e 600 grãos e polidas com feltro e pasta diamantada de 10 microns, no Laboratório de Microscopia do Departamento de Geologia da UFC.

As imagens de microscopia ótica foram realizadas na Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

5.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) /Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS)

Os corpos-de-prova foram cortados em uma cortadora a disco com lubrificante a frio, na Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC). Para o tratamento da superfície dos corpos-de-prova, os mesmos foram lixados com lixas de 220, 360, 400 e 600 grãos e polidas com feltro e pasta diamantada de 10 microns, no Laboratório de Microscopia do Departamento de Geologia da UFC.

Para realizar as imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS) não foi preciso metalização dos corpos-de-prova, usou-se aceleração de voltagem variável de 15kV e tempo de aquisição de 30s, foi utilizado o microscópio eletrônico de mesa *Tabletop Microscope TM 3000*, da marca *Hitachi*, no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Departamento de Geologia da UFC.

5.2.3 Microscopia Confocal

As análises de microscopia confocal foram realizadas na Central Analítica, no Departamento de Física da UFC. Utilizando um microscópio *Zeiss LM710 (Jena, Alemanha)*, usando uma lente objetiva Plana Apocromática de 10x de aumento com abertura numérica de 0,45 e distância focal de 2 mm. A varredura no eixo z foi realizada com passos iguais ao tamanho da fatia óptica adquirida: 3,29 micrômetros. Um laser com comprimento de onda de

405 nm foi utilizado para iluminação da amostra e a detecção foi realizada através da coleta de sinal com comprimento de onda de 405 a 735 nm.

5.3 Ensaio Acelerado de Névoa Salina

O ensaio de resistência à névoa salina foi realizado baseado na norma ASTM B 117, em câmara de corrosão *Q-FOG Cyclic Corrosion Tester*, modelo CCT 1100, figura 11, cumprindo as seguintes condições:

- solução salina: cloreto de sódio (NaCl) em água destilada a 5 % (50 g/L);
- fluxo de névoa salina com média de 0,7 L/hora;
- temperatura de 35 ± 2 °C.

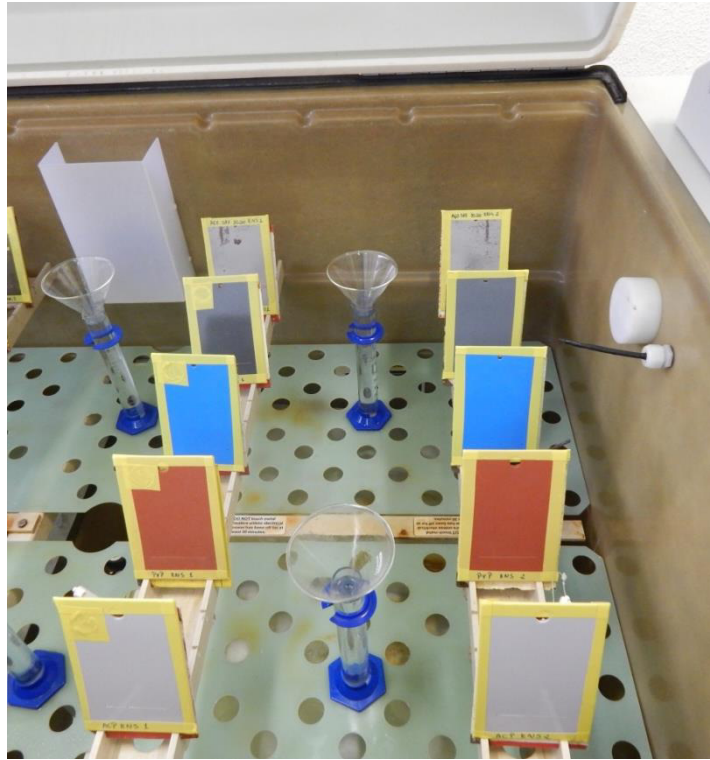
Os corpos-de-prova foram protegidos nas bordas por uma fita amarela para que não tivessem corrosão preferencial em suas laterais. Foram expostos 2 corpos-de-prova de cada sistema de pintura, com dimensões 100 mm x 150 mm, com incisão de 60 mm, feita por material pontiagudo (estilete), na parte inferior do corpo-de-prova até atingir o substrato (figura 9) com 30 mm de distância da borda da base do mesmo. Os corpos-de-prova pintados, suspensos entre 15° e 30° da vertical, ficaram expostos por 580 horas, nas condições descritas, e aconteceram 3 paradas no ensaio acelerado para caracterização das peças. Os corpos-de-prova do substrato metálico, não pintados, ficaram expostos por aproximadamente 168 horas (por volta de 7 dias). A figura 10 mostra os corpos-de-prova no interior da câmara de ensaio.

Figura 9 - Ilustração da incisão feita na parte inferior da chapa até atingir o substrato.



Fonte: Autora.

Figura 10 - Corpos-de-prova no interior da câmara de ensaio para início do teste de ensaio acelerado de névoa salina.



Fonte: Autora.

Figura 11 - Imagem da câmara de ensaio acelerado de névoa salina utilizada no presente trabalho.



Fonte: Autora.

5.3.1 Caracterização dos corpos-de-prova

Para a caracterização dos corpos-de-prova revestidos por pintura, foram realizados testes comumente utilizados em tintas: documentação fotográfica, medidas de aderência do revestimento ao substrato, medidas de espessura de película seca, medidas de rugosidade da superfície do revestimento.

5.3.1.1 Documentação Fotográfica

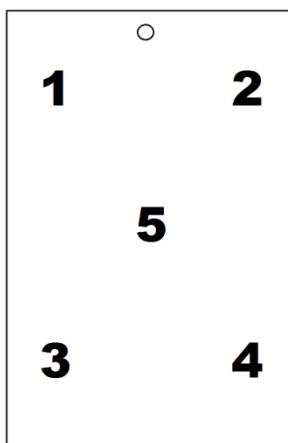
Para a documentação fotográfica foi utilizado a Câmera Digital Nikon Coolpix L820 para registrar os corpos-de-prova antes e após limpeza com água destilada, a fim de ter um registro permanente do desempenho do material na atmosfera salina, avaliando o comportamento do material frente aos produtos de corrosão em sua superfície e se sua aparência original foi mantida.

5.3.1.2 Teste de Espessura

No teste de espessura foi utilizado o medidor eletrônico portátil *PosiTector 6000* que mede a espessura dos revestimentos em qualquer metal de forma rápida, precisa e não destrutiva. Consiste em um corpo (padrão ou avançado) e uma sonda. Foram escolhidos 5 pontos equidistantes dos corpos-de-prova a fim de se obter uma média das medidas realizadas, como mostra a figura 12, esses pontos se encontram dispostos em tabelas no Apêndice como material suplementar.

Para a medição colocou-se a sonda na posição perpendicular à superfície dos corpos-de-prova a serem medidos, e manteve-se a sonda firme. Para cada medição válida realizada, o medidor emitiu dois bipes e a medição apareceu no painel do equipamento. Sempre levantando a sonda por pelo menos 5 cm acima da superfície entre as medições. O valor das medidas foi fornecido na unidade de microns.

Figura 12 - Ilustração dos pontos equidistantes nos corpos-de-prova para medidas de espessura.



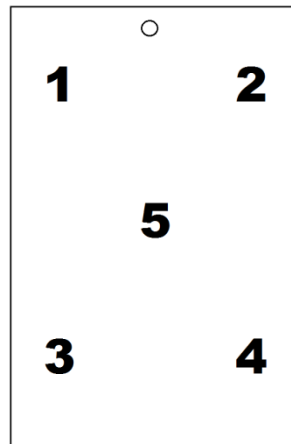
Fonte: Autora.

5.3.1.3 Teste de Rugosidade

No teste de rugosidade foi utilizado o equipamento *PosiTector Surface Profile Gage (SPG)* um instrumento eletrônico portátil que mede a distância entre a crista e o vale do perfil de uma superfície. Consiste em um corpo (padrão ou avançado) e uma sonda. A sonda fornecida tem um ângulo de 60° na sua ponta e cumpre a norma ASTM D 4417 B. Antes de realizar as medições calibrou-se o equipamento em uma placa de vidro em cinco pontos a fim de obter um zero como referência para todas as medidas. Foram escolhidos 5 pontos equidistantes dos corpos-de-prova a fim de se obter uma média das medidas realizadas, como mostra a figura 13, esses pontos se encontram dispostos em tabelas no Apêndice como material suplementar.

Colocou-se a sonda de maneira plana na superfície dos corpos-de-prova a serem medidos, de forma que a ponta da sonda alcançasse o ponto mais baixo do perfil da superfície mantendo-a fixa. Em cada medição o medidor emitiu duas vezes um som mostrando o resultado em seu painel e entre cada medição levantou-se a sonda da superfície. O valor da medida foi fornecido na unidade de microns.

Figura 13 - Ilustração dos pontos equidistantes nos corpos-de-prova para medidas de rugosidade.



Fonte: Autora.

5.3.1.4 Teste de Aderência (*Pull Off*)

Para realizar o teste de aderência, *pull off*, foi utilizado o medidor de adesão automático portátil *PosiTest AT-A* a fim de medir a força necessária para separar o revestimento do seu substrato utilizando pressão hidráulica, em um diâmetro específico. O teste de aderência segue as normas ASTM D 4541, ASTM D 7234, ISO 4624 e outras. Possui resolução de 1 psi (0,01 MPa) e precisão de $\pm 1\%$ de escala completa. O tamanho do *dolly*, figura 14 (a), utilizado foi de 20 mm que possui uma tração de pressão máxima de 3.500 psi (MPa). A forma como o *dolly* é arrancado por pressão hidráulica é ilustrado na figura 15. O valor fornecido é apresentado na unidade de psi.

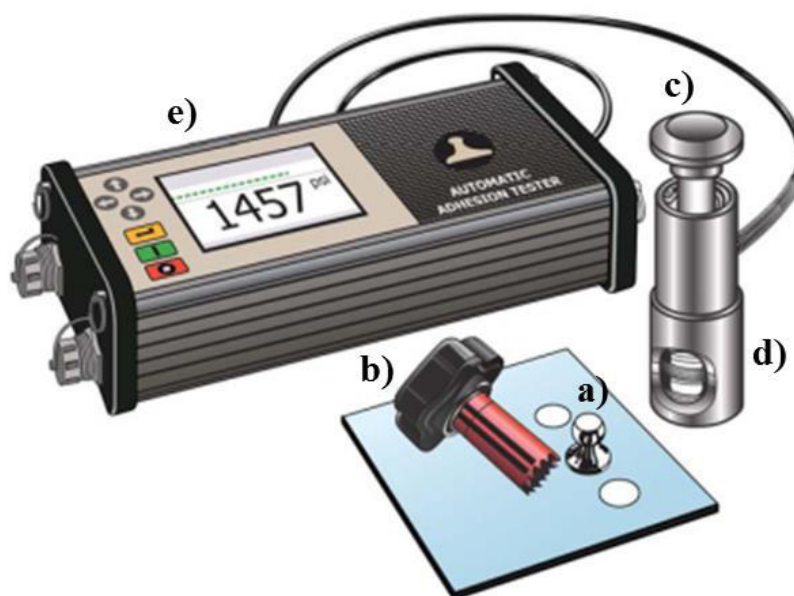
Para o preparo das condições ao teste lixou-se a superfície do *dolly* com o intuito de eliminar óxidos e contaminantes, finalizando sua limpeza com um pano seco. Com o intuito de facilitar a aderência do *dolly* ao revestimento limpou-se e lixou-se a superfície do revestimento criando uma ligeira rugosidade em sua superfície, visando, também, eliminar graxa, umidade ou poeira, atentando por garantir que a superfície finalize estando limpa. Após o tratamento das superfícies preparou-se a cola, numa proporção de 1:1, e aplicou-a de maneira uniforme em toda a base do *dolly*. Em seguida fixou-se o *dolly* sobre o revestimento e pressionou-o suavemente para que a cola pudesse se espalhar uniformemente, sem que houvesse uma torção ou que o *dolly* se movesse para que não criasse bolhas de ar. Retirou-se, cuidadosamente, o excesso de cola das laterais do *dolly* com um algodão molhado com álcool, finalizando por recobrir com uma fita. Esperou-se o tempo de cura da cola por cerca de 24 horas.

Passados 24 horas cortou-se cuidadosamente o excesso de cola usado no processo de aplicação do *dolly*. Cortou-se o revestimento em torno das bordas do *dolly* com a ferramenta de corte adequada, figura 14 (b), eliminando o excesso de cola e qualquer resíduo resultante do processo de corte, impedindo, também, que uma área maior do substrato seja iniciada, o que exigiria um maior esforço de tração.

Para execução do teste impulsioneu-se a alavanca do atuador para baixo, figura 14 (c), e colocou-se o atuador sobre a cabeça do *dolly* conectando-o ao acoplamento rápido, figura 14 (d), alcançando-o através dos orifícios do atuador e do acoplamento de elevação. Em seguida soltou-o o acoplamento rápido com a cabeça do *dolly* totalmente inserida. Depois de ligado o equipamento verificou-se os parâmetros iniciais.

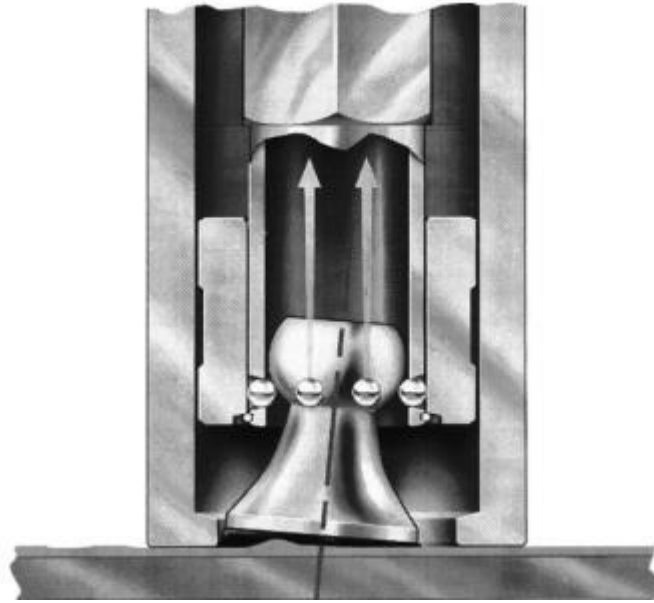
Ao iniciar o teste o instrumento gerou uma determinada pressão e revelou o resultado obtido em seu painel, figura 14 (e), após isso houve um arranque do *dolly* referente a superfície, finalizando por aparecer no painel do equipamento o valor da pressão máxima, indicando a pressão ao longo do tempo no diagrama de tração. Removeu-se o *dolly* do conjunto do atuador e examinou-se o *dolly* e a superfície do revestimento.

Figura 14 - Ilustração do medidor automático PosiTest AT-A (a) *dolly*, (b) ferramenta de corte adequada, (c) atuador, (d) acoplamento rápido e (e) painel do equipamento.



Fonte: Norma ASTM D 4541.

Figura 15 - Ilustração do dolly sendo arrancado por pressão hidráulica dentro do acoplamento rápido.



Fonte: Norma ASTM D 4541.

7 CONCLUSÃO

A partir do ensaio de névoa salina conforme norma ASTM B 117, foi possível estabelecer uma classificação dos esquemas de pintura utilizados, quando submetidos ao desgaste de corrosão com uma incisão proposital (corte): pintura utilizada para transformadores padrões < pintura utilizada para transformadores destinados à orla marítima.

(Dados não divulgados pela Autora)

Verificou-se que a rugosidade da superfície do aço e das camadas de tintas, vistas pelas micrografias e pelas topografias, contribuíram para uma boa aderência entre o esquema de pintura de transformadores destinados à orla marítima, corroborando com dados do teste de aderência.

O ensaio acelerado de névoa salina, os registros fotográficos, os testes de espessura e rugosidade mostraram-se eficientes em apresentar que o esquema de pintura de tinta primer com tinta de acabamento utilizado para transformadores padrões possui uma qualidade inferior ao esquema de pintura tinta primer com tinta de acabamento para transformadores destinados a orla marítima.

7.1 Trabalhos futuros

A fim de caracterizar as tintas primer e de acabamento que estão sendo utilizadas hoje na produção de carcaças de transformadores, deseja-se continuar o estudo, que já foi iniciado, analisando a composição e estrutura das tintas utilizadas por meio de:

- Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR);
- Espectroscopia Raman;
- Difração de Raios X (DRX);
- Espectroscopia Atômica;
- Teste de dureza;
- Ensaio eletroquímicos (curvas de polarização, potencial de circuito aberto e espectroscopia de impedância eletroquímica).

(Dados não divulgados pela Autora)

Vale salientar que trabalhos relativos à melhoria na área de materiais avançados crescem a cada dia mais, uma vez que este estudo está intimamente relacionado não só a orçamentos e despesas, mas também com os desafios encontrados pela sociedade em manter de forma durável e sustentável toda a energia gerada.

REFERÊNCIAS

AÇOS PORTE COMERCIAL DE AÇOS LTDA. **Aço sae 1020**. Disponível em: <<http://www.acosporte.com.br/aco-sae-1020>>. Acessado em: 5 de abril de 2019.

ADLER, T. **Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection**. 13A vol. ASM internacional, 2003.

ALMEIDA, N. L.; PANOSSIAN, Z. **Corrosão Atmosférica 17 Anos**. IPT: São Paulo, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM B 117: Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus**. 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM B 368: Standard Test Method for Copper-Accelerated Acetic Acid-Salt Spray (Fog) Testing (CASS Test)**. 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 609: Standard Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products**. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1193: Standard Specification for Reagent Water**. 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1654: Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments**. 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 4417: Standard Test Methods for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel**. 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 4541: Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers.** 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 7234: Standard Test Method for Pull-Off Adhesion Strength of Coatings on Concrete Using Portable Pull-Off Adhesion Testers.** 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 70: Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions With the Glass Electrode.** 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 691: Standard Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method.** 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G 85: Standard Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing.** 2011.

ASHBY, M. **Engineering Materials 2 an Introduction to Microstructures, Processing and Design.** Elsevier. 3 ed. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 87: Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição química.** 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5356: Transformadores de potência. Parte 11: Transformadores do tipo seco: Especificação.** 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5456: Eletricidade geral: Terminologia.** 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14643: Corrosão atmosférica: Classificação da corrosividade de atmosferas.** 2001.

AWD ENERGIA. **Home.** Disponível em: < <http://awdenergia.com.br/>>. Acessado em: 5 de abril de 2019.

BECHARA, R. **Análise de falhas de transformadores de potência.** 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BROWN, T. L.; Lemay, H. E.; Bursten, B. E.; Burdge, J. R.; **Química: a ciência central**, 9ª ed., São Paulo: Pearson Education, 2005.

BROWN, T. L.; Lemay, H. E.; Bursten, B. E.; Burdge, J. R.; **Química: a ciência central**, 13ª ed., São Paulo: Pearson Education, 2016.

CALLISTER, W. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução.** 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 844 p.

CAMPBELL, R. Avoiding defects of stainless steels welds. **Welding Journal**, 86, 53- 63, 2007.

CHAPMAN, C. **Fundamentos de Máquinas Elétricas.** 5. ed. Porto Alegre: 2013.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento.** 2. ed. vol 2. 1986.

CORTEZ, L. **Uso das estruturas de aço no Brasil.** v. 4, n. 2, p. 217–228, 2017.

COURY, D. V. **Redes neurais artificiais recorrentes aplicadas na correção de sinais distorcidos pela saturação de transformadores de corrente.** v. 17, n. 4, 2006.

FERRAZ, H. O Aço na Construção Civil. **Revista Eletrônica de Ciências**, n. 22, 2005.

FONSECA, C. **Influência do aporte térmico sobre a microestrutura em juntas soldadas de aço inoxidável AISI 304.** p. 1–8, 2017.

GEMELLI, E. **Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização**, 1ª ed., LTC: Rio de Janeiro, 2001.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5. ed., LTC: Rio de Janeiro, 2007.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed., LTC: Rio de Janeiro, 2011.

HOCH, R. **Manual de Pintura Industrial e elementos de pintura imobiliária profissional**. 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4624: Paints and varnishes: Pull-off test for adhesion**. 2016.

JOSÉ, F.; BENEDET, G.; TIAGO, D. Microstructural and mechanical evaluation of a dissimilar joining between SAE 1020 and AISI 304 steel obtained via ultra -high -frequency -pulsed GTAW . **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 5, 2019.

LEISINGER, T. P. W. **Calculating a Total cost of Ownership for Transformers**. CSE - Consulting Specifying Engineer, Pure Power, 2009.

MARTÍNEZ, C. **Effect of Atmospheric Corrosion on the Mechanical Properties of SAE 1020 Structural Steel**. p. 1–17, 2018.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. **Corrosão química**. v. 4, p. 2–5, 2013.

MESQUITA, R. A.; BARBOSA, C. A. Desenvolvimento de aço com usinabilidade melhorada e aços endurecíveis por precipitação para moldes de plástico. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**, v. 1, n. 4, p. 11–15, 2005.

PANNOMI, F. D. Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio. **Perfis Gerdau Açominas**, p. 79, 2015.

RODRIGUES, L. M.; VELOSO, R. R.; LEMOS, M. V. **Estudo da microestrutura e da microdureza dos aços 1020 e 1060**. 2014.

SILVA, E. **Estudo de Relações entre Perdas e Custo Total de Propriedade em Transformadores no Contexto da Eficiência Energética**. 2012

SILVA, M. V. F. *et al.* Carbon steel corrosion: an everyday approach for chemistry teaching. **Química Nova**, v. 38, n. 2, p. 293–296, 2015.

SIMONE, G. **O uso de óleo vegetal em transformadores de distribuição de energia elétrica**. 2017. 40 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017.

STOCCO, M. **Avaliação do potencial de aplicação de óleos vegetais como fluidos isolantes em transformadores de distribuição da rede elétrica**. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

TOLENTINO, N. **Processos químicos industriais: Matérias-primas, técnicas de produção e métodos de controle de corrosão**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2015. 160 p.