

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
CEARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

FABIO FANTONI FERREIRA

**CARACTERIZAÇÃO DA CORROSÃO EM AÇOS EMPREGADOS NAS
EMPRESAS DE ENERGIA RENOVÁVEIS DO CIPP**

MARACANAÚ, CEARÁ

2022

FABIO FANTONI FERREIRA

CARACTERIZAÇÃO DA CORROSÃO EM AÇOS EMPREGADOS NAS EMPRESAS
DE ENERGIA RENOVÁVEIS DO CIPP

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - Campus Maracanaú, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Energias Renováveis. Área de concentração: Corrosão.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Freitas Guimarães

MARACANAÚ, CEARÁ

2022

Agradecimentos

À Deus, por minha vida e por me dar força e coragem para superar obstáculos para que eu possa sempre ir em busca dos meus objetivos.

À minha querida esposa Vanessa e aos meus filhos pelo apoio incondicional e suporte durante este período de muito desafios em paralelo.

Ao Professor Dr. Rodrigo Freitas Guimarães, Dr. Marcelo Monteiro Valente Parente e Dr. Francisco Nélcio Costa Freitas pelos ensinamentos, orientação, amizade e disponibilidade.

À APM Terminals Pecém, em especial ao Diretor Daniel Rose, por todo seu apoio e incentivo, assim como a disponibilização de uma excelente infraestrutura para a realização dos ensaios de campo tão essenciais a esta pesquisa.

A toda equipe de Engenharia e Manutenção da APM Terminals Pecém, em especial a Gabriel Carra e equipe de soldadores, pelo excelente trabalho na confecção das estantes para os corpos de prova e suporte na coleta das amostras mesmo em período de pandemia.

A equipe de Engenharia e Manutenção do CIPP, em especial aos Gerentes Manoel Messias de Freitas Filho e Marco Antônio Ximenes Paiva, por todo seu apoio e suporte para realização para a realização dos ensaios de campo tão essenciais a esta pesquisa.

À todos do Laboratório de Inspeção e Análise de Falhas (LIAF) do IFCE Campus Maracanaú, em especial aos discentes Daniel Alencar e João Mendonça por toda a ajuda no preparo dos corpos de prova.

Ao Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis (PPGER) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) e a todo o seu corpo docente.

À todos aqueles que de alguma forma contribuíram com a realização deste sonho, por meio de ensinamentos e principalmente pela preciosa amizade. Muito obrigado!

Resumo

As indústrias instaladas no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) convivem com intensa corrosão em suas estruturas metálicas e equipamentos, onde predominam os aços estruturais ASTM A709 (COR 400) e ASTM A36. Apesar da literatura existente sobre estudos de corrosão destes aços em laboratório, destaca-se a ausência de trabalhos científicos que descrevam os seus comportamentos corrosivos em campo. Visando preencher essa lacuna, o objetivo deste trabalho foi determinar suas taxas de corrosão atmosférica a fim de estimar sua vida útil na região estudada e melhor caracterizar a agressividade da região de tal forma que seja possível avaliar melhorias no processo de combate a corrosão que visem a redução dos custos de manutenção e garantia da integridade estrutural das estruturas. Assim, foram realizados ensaios de campo, em amostras expostas ao intemperismo em 4 localizações distintas do complexo portuário, cuja preparação e avaliação dessas amostras foram baseadas nas normas ISO 9226 e ASTM G140. Foram obtidas as curvas que representavam a taxa de corrosão dos aços em função do tempo e em relação à posição da amostra na região. O aço A36 apresentou uma menor taxa de corrosão quando comparado ao aço COR 400. Com base nos resultados obtidos neste projeto é possível suportar a definição da estratégia de manutenção preventiva referente a pintura nos equipamentos localizados na região estudada.

Palavras-chaves: Corrosão; COR 400; ASTM A36; Aços Estruturais; Corrosão Atmosférica.

Abstract

The industries installed in the Pecém Industrial and Port Complex (CIPP) live with intense corrosion in their metallic structures and equipment, where ASTM A 709 (COR 400) and ASTM A 36 structural steels predominate. In the laboratory, there is a lack of scientific studies describing their corrosive behaviour in the field. In order to fill this gap, the objective of this work was to determine its atmospheric corrosion rates in order to estimate its useful life in the studied region and better characterize the aggressiveness of the region in such a way that it is possible to evaluate improvements in the corrosion combat process aimed at reduction of maintenance costs and guarantee of structural integrity of structures. Thus, field tests were carried out on samples exposed to weathering in 4 different locations of the port complex, whose preparation and evaluation of these samples were based on ISO 9226 and ASTM G 140 standards. As a function of time and in relation to the position of the sample in the region. The A 36 steel presented a lower corrosion rate when compared to the COR 400 steel. Based on the results obtained in this project, it is possible to support the definition of the preventive maintenance strategy regarding painting in the equipment located in the studied region.

Key-words: Corrosion; COR 400; ASTM A36; Structural Steels; Atmospheric Corrosion.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Ciclo de vida dos materiais metálicos.	12
Figura 2 – Efeito da corrosão em aços patináveis.	14
Figura 3 – Formas de corrosão.	19
Figura 4 – Gráficos típicos para corrosão do aço carbono versus tempo de exposição em diferentes locais marinhos.	23
Figura 5 – Relação entre taxa de corrosão de aço carbono e a categoria da atmosfera de corrosão de acordo com a ISO 9223:2012 para diferentes tipos de atmosferas.	24
Figura 6 – Formação de "ninhos de cloreto". (a) um ninho de sulfato; (b) uma aglomeração de cloretos.	27
Figura 7 – Variação na taxa de corrosão do aço macio com distância da costa.	27
Figura 8 – Relação entre salinidade da atmosfera e velocidade média mensal ponderada do vento para ventos marinhos.	28
Figura 9 – Variação na taxa de corrosão do aço macio com salinidade em um amplo espectro de salinidades atmosféricas.	29
Figura 10 – Estado da arte.	32
Figura 11 – Fases do projeto.	33
Figura 12 – Equipamentos utilizados na Fase 1 do projeto. (a) estante de posicionamento dos CP; (b) instrumento de medição de temperatura e umidade.	34
Figura 13 – Croqui dos corpos de prova ensaiados.	36
Figura 14 – Equipamentos para a caracterização das amostras. (a) Microscópio óptico com sistema de aquisição, (b) Microdurômetro de bancada digital e (c) Balança de precisão.	38
Figura 15 – Posição do HT-70 em campo. (a) Ponto b - Estante com CP a 65 m de altura; (b) Ponto d - Estante com CP a 8 m de altura.	39
Figura 16 – Disposição das amostras em estante de teste.	40
Figura 17 – (a) Estante com CP a 90 m de altura; (b) Estante com CP a 65 m de altura; (c) Estante com CP a 20 m de altura e (d) Estante com CP a 8 m de altura.	40
Figura 18 – Disposição das estantes contendo os CP em relação a distância do continente.	41
Figura 19 – Micrografias do aço SAE 1010 recebido. (a) Aumento: 500X. (b) Aumento: 1000X.	43
Figura 20 – Micrografias do aço A36 recebido. (a) Aumento: 500X. (b) Aumento: 1000X.	43
Figura 21 – Micrografias do aço COR 400 recebido. (a) Aumento: 500X. (b) Aumento: 1000X.	44
Figura 22 – Amostras dos aços antes da exposição.	45
Figura 23 – Ponto X localizado na área de estocagem de contêineres.	46
Figura 24 – Ponto Y localizado em área sem barreira física.	46

Figura 25 – Estante localizada no Ponto Y a 8 m de altura.	47
Figura 26 – Estante localizada no Ponto X a 20 m de altura.	47
Figura 27 – Estantes após 63 dias. (a) Ponto Z a 8 m de altura. (a) Ponto K a 8 m de altura.	48
Figura 28 – Estantes no Ponto X. (a) 20 m de altura. (b) 65 m de altura. (c) 85 m de altura.	48
Figura 29 – Aço COR 400. (a) Estante Ponto Y a 8 m. (b) Amostras da posição 1 da estante.	49
Figura 30 – Aço A36. (a) Estante Ponto Y a 8 m. (b) Amostras da posição 2 da estante.	49
Figura 31 – Esquema com a classificação da corrosividade de atmosferas.	50
Figura 32 – Gráficos. (a) Volume de precipitação (mm). (b) Temperatura média diária em 0 °C. (c) Umidade relativa do ar.	52
Figura 33 – Gráfico Perda de massa x Dias em campo para o aço A36.	55
Figura 34 – Gráfico Perda de massa (g) x Dias.	57
Figura 35 – Gráfico Perda de massa x Dias em campo para o aço COR 400.	57
Figura 36 – Gráfico Perda de massa (g) x Dias.	59
Figura 37 – Gráfico com taxa de corrosão das amostras após 483 dias de exposição. . . .	63

Lista de tabelas

Tabela 1 – Classificação da agressividade da corrosão atmosférica.	20
Tabela 2 – Categoria de corrosividade e correspondente impacto ambiental.	21
Tabela 3 – Principais características dos Ensaio de Campo e Laboratório.	30
Tabela 4 – Composição química (% em massa) dos aços estudados.	35
Tabela 5 – Composição química (% em massa) dos aços estudados (continuação). .	35
Tabela 6 – Procedimento de limpeza do corpo de prova.	36
Tabela 7 – Reagentes utilizados no processamento das amostras.	37
Tabela 8 – Data da exposição e períodos (em dias) de cada recolhimento das amostras.	45
Tabela 9 – Dados de precipitação, temperatura e umidade relativa.	51
Tabela 10 – Classificação em termos de tempo de superfície úmida.	53
Tabela 11 – Tempos de superfície úmida calculados e as características climatológicas.	54
Tabela 12 – Percentual de redução de perda de massa com o tempo (aço A36). . . .	56
Tabela 13 – Percentual de redução de perda de massa com o tempo (aço COR 400). .	58
Tabela 14 – Comparação do percentual de redução de perda de massa com o tempo, dos aços estudados.	59
Tabela 15 – Taxas de corrosão cupom padrão.	60
Tabela 16 – Classificação da corrosividade da atmosfera.	60
Tabela 17 – Potencial de corrosividade da atmosfera.	61
Tabela 18 – Comparação entre normas.	61
Tabela 19 – Taxa de corrosão aço A36.	62
Tabela 20 – Taxa de corrosão aço COR 400.	62

Lista de abreviaturas e siglas

LIAF	Laboratório de Inspeção e Análise de Falhas
CIPP	Complexo Industrial e Portuário do Pecém
PPGER	Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis
ASTM	American Society for Testing and Materials
ISO	International Organization for Standardization
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
IZA	International Zinc Association
USP	Universidade de São Paulo
PIB	Produto Interno Bruto
RMB	Renminbi (moeda oficial da China)
LCC	Life cycle costing
VPL	Valor Presente Líquido
CA	Corrosão Atmosférica
HR	Relative Humidity
MAC	Marine Atmospheric Corrosion
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
CP	Corpo de Prova
LMAT	Laboratório de Materiais
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
SAE	Society of Automotive Engineers International
STS	Ship to Shore
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
EDS	Espectro de Energia Dispersiva

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Corrosão	16
2.1.1	Definição da corrosão	16
2.1.2	Conceitos básicos	16
2.1.3	Formas de corrosão	18
2.1.4	Corrosão atmosférica	19
2.1.5	Determinação da velocidade de corrosão	21
2.1.6	Corrosão do aço a longo prazo	22
2.1.7	Estabilização da camada de óxido	23
2.1.8	Corrosão marinha	25
2.1.9	Atmosfera marinha	25
2.1.9.1	Aerossóis marinhos	26
2.1.9.2	Salinidade atmosférica	27
2.1.10	Ensaio de corrosão	30
2.1.10.1	Ensaio de campo atmosférico	31
2.1.10.2	Ensaio de laboratório - eletroquímicos	31
2.1.11	Estado da arte	32
3	METODOLOGIA	33
3.1	Resumo descritivo das etapas	33
3.2	Preparação das amostras	34
3.3	Cálculo das áreas das amostras e pesagem	35
3.4	Reagentes utilizados	36
3.5	Equipamentos e insumos utilizados	37
3.6	Instrumento medidor de temperatura e umidade	38
3.6.1	Tomada de dados oficiais de nível pluviométrico	39
3.6.2	Ensaio de campo (corrosão atmosférica)	39
3.6.3	Perda de massa e velocidade de corrosão	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	Caracterização microestrutural	43
4.2	Inspeção visual	44
4.3	Dados climáticos	50

4.3.1	Classificação em termos de tempo de superfície úmida	53
4.4	Avaliação da perda de massa para o aço A36	55
4.5	Avaliação da perda de massa para o aço COR 400	57
4.6	Avaliação da corrosão em cupom padrão	60
4.7	Avaliação da corrosão dos aços A36 e COR 400	61
5	CONCLUSÃO	64
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	65
	REFERÊNCIAS	66
	ANEXO A – CERTIFICADO CSN	71
	ANEXO B – CERTIFICADO ARCELORMITTAL	72
	ANEXO C – CERTIFICADO USIMINAS	73

1 Introdução

No Brasil, cerca de 42,9% da geração de energia elétrica provém de fontes renováveis, o que posiciona o país na vanguarda mundial da utilização de energia limpa. O governo, por meio de incentivos, criação de autarquias e privatizações do setor energético, mantém o suporte ao desenvolvimento do setor (TOLMASQUIM et al., 2016).

No Ceará, fontes de energia renováveis, como parques solares e parques eólicos, têm elevado potencial de crescimento devido não só à irradiação solar elevada e de qualidade durante um longo período do ano (SANTOS et al., 2016) como também à contínua incidência de ventos de qualidade (CARMELO et al., 2017).

Há concentração de recursos que vêm contribuindo para o desenvolvimento do Ceará na região conhecida como Complexo Industrial do Porto de Pecém (CIPP), que comporta além das indústrias de energia renovável, Indústria de Transformação, Metal Mecânica, Construção Civil, Portuária e Logística, dentre outras.

Utilizado na construção de grande variedade de estruturas e equipamentos metálicos devido ao seu baixo custo e boa resistência mecânica, o aço consiste no material metálico mais empregado em estruturas ao ar livre. Grande parte do aço fabricado é exposto a condições ao ar livre, muitas vezes em ambientes altamente poluídos, nos quais a corrosão é muito mais grave do que em ambientes rurais limpos.

De forma particular, os aços estruturais COR 400 e ASTM A36 são largamente utilizados na construção de galpões, torres, pontes rolantes, guindastes (SAJID; KIRAN, 2018; SILVA; GHENO, 2018; PANNONI, 2005).

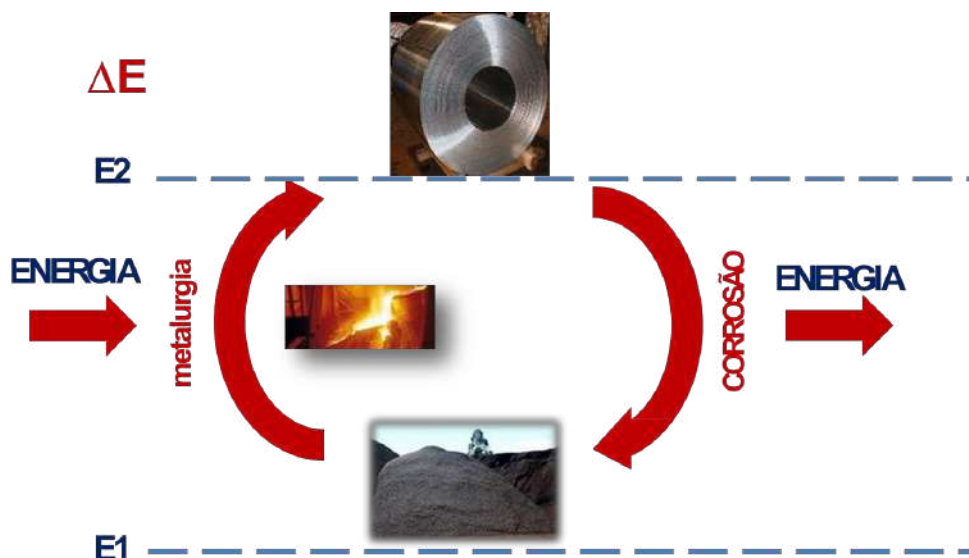
Conforme observado na Figura 1, a corrosão consiste em um processo natural e espontâneo no qual o material busca menor nível de energia, retornando ao seu estado mineral.

Para sociedades economicamente avançadas, situadas nas regiões costeiras, a corrosão do aço pode ser um problema considerável, uma vez que se efetua pesados investimentos na conservação das estruturas metálicas expostas a intempéries e localizadas nestas regiões. Torna-se fundamental para engenheiros e para formuladores de políticas públicas poder prever favoravelmente a atmosfera corrosiva e o comportamento dos aços no futuro, em 25, 50 e até mesmo daqui a 100 anos (PAN et al., 2016).

Com base no estudo *Mapping Atmospheric Corrosion in Costal Regions: Methods and Results*, desenvolvido por Slamova et al. (2012), nota-se que o potencial corrosivo do Ceará é um dos mais elevados do mundo. Associando esse fato ao estudo realizado para mapeamento da corrosividade atmosférica do estado do Ceará constata-se que a região de

entorno ao CIPP, possui de fato um elevado potencial corrosivo (LUNA et al., 2008).

Figura 1 – Ciclo de vida dos materiais metálicos.



Fonte: Fernandes, Mariano e Gnecco (2003).

Um dos fatores contribuintes para esse diagnóstico é a elevada concentração de íons de Cl^- que, associado a umidade relativa é um dos agentes mais impactantes na elevação da velocidade de corrosão de materiais expostos à atmosfera marinha (ALCANTARA et al., 2017).

Segundo estudo da *International Zinc Association* (IZA), com apoio da USP-SP, foram gastos, em 2015, no Brasil cerca de 4% do seu PIB, o equivalente a R\$ 236 bilhões com proteção e recomposição de estruturas suscetíveis à ação da corrosão (FIEP, 2019).

No que tange à redução dos resultados indesejáveis ocasionados pelo processo corrosivo impossíveis de serem eliminados, podem ser aplicadas não só técnicas anticorrosivas, como também a técnica de avaliação da velocidade de corrosão, na qual se estima conhecer a vida útil dos equipamentos garantindo a integridade e confiabilidade operacional (OSTROSKI, 2019).

Segundo Gentil (2011), há uma tendência de que os custos com a corrosão se elevem com o tempo, tornando-se essencial que este problema seja avaliado ainda na fase de projeto de grandes instalações industriais. Pesquisas realizadas nos EUA mostram que o custo da corrosão em portos e vias chega aos US\$300 milhões/ano (KOCH, 2002) e pesquisas na China apontam para custos da ordem dos 190 milhões RMB em ações de manutenção (HOU et al., 2017). As empresas podem estimar os custos e se preparar previamente para os impactos financeiros da corrosão.

As quatro principais abordagens para esse levantamento de custo da corrosão encontradas na literatura, são o método Uhlig, através do cálculo do custo com base nos

métodos de prevenção, o método Hoar, que realiza estimativas em vários setores industriais, o método I/O (*input/output*), baseado na matriz de entrada e saída e o método do custo do ciclo de vida – LCC (*Life cycle costing*), este faz uso do cálculo do VPL – valor presente líquido (BHASKARAN et al., 2005).

Os Aços Estruturais Resistentes à Corrosão se diferenciam dos Aços Estruturais convencionais pela adição de elementos de liga, tais como Cobre (Cu), Cromo (Cr), Silício (Si) e Fósforo (P), desenvolvendo uma camada de óxido altamente protetora durante o contato com o meio ambiente. Estes aços patináveis apresentam elevada resistência à corrosão atmosférica (resistência à corrosão no mínimo quatro vezes superior aos aços estruturais convencionais), boa tenacidade e soldabilidade e alta resistência mecânica.

Os aços COR 400 são os mais largamente utilizados na construção da estrutura de máquinas e guindastes utilizados na operação portuária. O CIPP possui em seu parque de equipamentos 2 *Ship to Shore* (22 milhões de dólares), 9 *Mobile Harbour Crane* (72 milhões de dólares), mais de 25 *Reach Stackers* (11,5 milhões de dólares) cujas estruturas são construídas, em sua maior parte, do aço COR 400, o qual apesar de uma excelente resistência mecânica, resistência a fadiga confirmado pelos anos de operação, sem falhas estruturais relevantes, não vem performando bem em termos de resistência a corrosão, quando expostos diretamente ao intemperismo do Pecém.

Fato evidenciado quando tomou-se como base apenas um operador logístico do CIPP, estima-se o gasto anual da ordem de R\$ 500.000,00 com proteção e recuperação de estruturas devido à corrosão. Projetando essa estimativa para os demais quatro grandes operadores portuários, atinge-se o montante de R\$ 2.000.000,00 investidos ao ano. O próprio CIPP possui projeto aprovado na ordem de R\$ 80.000.000,00 para tratamento e proteção contra corrosão dos pilares de sustentação dos *piers*, a ser executado no período de 2020 a 2025 anos.

O aço ASTM A36 é um aço carbono de qualidade estrutural, sua resistência, conformabilidade e excelentes propriedades de soldagem o tornam adequado para uma ampla variedade de aplicações, incluindo soldagem, fabricação e dobra. Pode ser utilizado em pontes, estruturas de equipamentos, passarelas, edifícios, plataformas de petróleo entre outros mais comuns como cantoneiras, barras redonda (ou chata/ quadrada) e Perfis (I, U e T).

Este material se enquadra entre os materiais da chamada qualidade estrutural, aços de médio ou alta resistência adequados a finalidades estruturais. No CIPP é o mais largamente utilizado na construção da estruturas metálicas como passarelas, corrimões, torres, postes de eletricidade, algumas peças aplicadas no equipamentos portuários, dentre outras aplicações.

Todas estas estruturas são preparadas mecanicamente e revestidas com pintura epóxi na maior parte dos casos, em função da agressividade do ambiente, entretanto como neste ambiente temos a projeção de partículas é muito comum a perda da camada protetora externa e o surgimento de pontos de corrosão, os quais com o passar do tempo deterioram a estrutura levando a grandes reformas e investimento da ordem de milhões de reais.

Este fenômeno é relatado por Pannoni et al. (1993) na Figura 2, que mostra dois tipos de aço laminado a quente, sob as normas ASTM A242 e ASTM A36, expostos por 48 meses em atmosfera industrial. Podemos observar, que o aço carbono comum produziu um grande volume de produtos de corrosão e danificou a pintura. Já o aço patinável (ASTM A242), no mesmo período, produziu menor volume. A tinta está íntegra e continua a oferecer proteção contra a corrosão. O aço é protegido pela tinta e, mesmo quando alcançado pelo oxigênio e água atmosféricos (por difusão), acaba por produzir um volume de óxidos consideravelmente menor do que o gerado sobre o aço carbono, e que não chega a destruir a película. Por esse motivo, mesmo formando óxidos, a durabilidade da proteção é maior do que no caso do aço carbono. A corrosão no aço patinável ficou circunscrita à região dos cortes.

Figura 2 – Efeito da corrosão em aços patináveis.



Fonte: Pannoni et al. (1993).

De fato o estudo dos fatores que podem estar influenciando a corrosão deste aço é complexo e pode estar ligado a elevada salinidade do mar da região, ventos na região, umidade da região, dentre outros fenômenos. A corrosão atmosférica (CA) do aço carbono consiste em um tópico extenso estudado por muitos pesquisadores, contudo, ainda existe uma lacuna no sentido de descrever o comportamento corrosivo dos aços estruturais COR 400 e ASTM A36 quando aplicados à microrregião do CIPP.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste estudo consistiu em determinar as taxas de corrosão dos aços COR 400, ASTM A36 para 4 regiões distintas e em alturas específicas, no Terminal Portuário do Pecém, em relação ao nível do mar, por meio de ensaios de campo tendo por base as normas ISO 9226:2012 e ASTM G140-02.

Todavia, para adicionar mais valor ao estado da arte torna-se necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Determinar a taxa de corrosão, no campo, em função do tempo de exposição;
- Determinar a vida útil dos aços expostos ao intemperismo com base em equações já existentes;
- Identificar qual dos aços estudados apresenta melhor desempenho frente a influência do intemperismo da região;
- Construir curvas de comportamento dos aços em função da altura da amostra e de sua distância do continente.

Espera-se, portanto, adicionar um apanhado de informações importantes para trabalhos futuros que visem minimizar os efeitos da corrosão nos ativos da região, contribuindo não só para a redução das perdas financeiras como também para redução da emissão de CO₂, gerado pela mobilização e execução do combate aos efeitos da corrosão.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Corrosão

A indústria está sempre em busca de meios rápidos e seguros capazes de avaliar seus produtos e seus serviços para o combate à corrosão. Os ensaios de corrosão constituem uma parte importante do desenvolvimento dessa pesquisa (PINTO, 2016).

2.1.1 Definição da corrosão

Dentre as várias definições sobre corrosão fornecidas pela literatura, destaca-se a determinada por Gentil (2011), que define a corrosão como "a deterioração dos materiais pela ação química, eletroquímica do meio, podendo ou não estar associada a esforços mecânicos".

Essa deterioração, causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional, representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso.

Segundo a norma ISO 8044:2015 da *International Organization for Standardization* (STANDARDIZATION, 2015), a corrosão de metais é definida como uma interação físico-química entre o metal e o meio ambiente, que resulta em mudanças nas propriedades do metal, e que pode conduzir a uma significativa deterioração da função do metal, do ambiente, ou do sistema, do qual esses fazem parte.

2.1.2 Conceitos básicos

A CA de metais é um processo eletroquímico, resultado da soma dos processos individuais que ocorrem quando se formam camadas aquosas sobre o metal. Este eletrólito pode ser quer uma camada extremamente fina de umidade, apenas algumas monocamadas, ou um filme aquoso de centenas de microns de espessura, quando o metal é perceptivelmente molhado.

Precipitação aquosa (chuva, nevoeiro, etc.) e a condensação de umidade, devido às mudanças de temperatura, como a de orvalho, condensação capilar nas superfícies associados a depósitos de partículas sólidas, e condensação química, devido às propriedades higroscópicas de certas substâncias poluentes depositados sobre a superfície metálica, são os principais promotores de corrosão metálica na atmosfera (TOMASHOV, 1965).

Estudos recentes sobre a molhagem das superfícies metálicas, a fim de entender o processo de controle da corrosão atmosférica, bem como o efeito da Umidade Relativa (*HR - relative humidity*) na corrosão do aço, na presença de aerossóis de sal do mar (NaCl e MgCl₂) podem ser encontrados na literatura (COLE et al., 2004).

A magnitude da CA é basicamente controlada pelo tempo em que a superfície é molhada, embora, em última análise, depende de uma série de fatores, tais como PH, temperatura, condições de exposição, à poluição atmosférica, a composição do metal, as propriedades de oxidação, etc (COLE et al., 2004).

O processo de CA envolve reações de oxidação e redução simultâneas, que podem ser acompanhadas por outras reações químicas em que os produtos de corrosão podem participar (ALCANTARA et al., 2017).

Um exemplo é a formação da ferrugem, descrita nas Equações 2.1 a 2.6 (MERÇON; GUIMARÃES; MAINIER, 2004).

Reação anódica (oxidação):



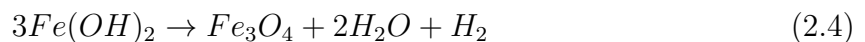
Reação catódica (redução):



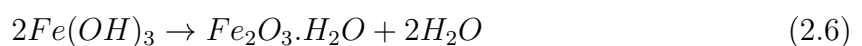
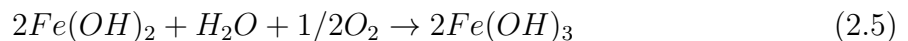
Neste processo, os íons Fe²⁺ migram em direção à região catódica, enquanto os íons OH⁻ direcionam-se para a anódica. Assim, em uma região intermediária, ocorre a formação do hidróxido ferroso:



Em um meio com baixo teor de oxigênio, o hidróxido ferroso sofre a seguinte transformação:



Por sua vez, caso o teor de oxigênio seja elevado, obtém-se:



Assim, o produto final da corrosão, ou seja, a ferrugem, consiste nos compostos Fe_3O_4 (coloração preta) e $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (coloração alaranjada ou castanho-avermelhada).

A difusão do oxigênio através da camada aquosa é geralmente um fator de controle da taxa de corrosão, que atinge um valor máximo para as espessuras intermediárias da camada aquosa na superfície do metal. A união acima das gotas individuais de modo a formar camadas de eletrólito relativamente espessas pouco reduz a taxa de ataque, uma vez que dificulta a chegada do oxigênio (ALCANTARA et al., 2017).

Por outro lado, uma diminuição excessiva da espessura da camada de umidade interrompe o processo de corrosão, devido à elevada resistência ôhmica de camadas muito finas em que as reações de ionização e dissolução de metal são obstruídas. Uma secagem rápida e repetida de molhagem da superfície conduz a efeitos de corrosão mais fortes (ALCANTARA et al., 2017).

Durante os períodos de secagem, as correntes de convecção causadas por evaporação do eletrólito acarretam uma diminuição na espessura efetiva da camada de difusão, com o consequente aumento da taxa de transporte de polarização catódica, tornando, assim, a taxa de corrosão um processo catodicamente controlado (ALCANTARA et al., 2017).

A composição química da atmosfera – poluição do ar por gases, vapores de ácido ou aerossóis de água do mar – constitui outro fator que determina substancialmente a intensidade do fenômeno corrosivo (ALCANTARA et al., 2017).

2.1.3 Formas de corrosão

Os processos corrosivos, geralmente, se passam na superfície do material e podem ser classificados segundo sua morfologia, causas ou mecanismo, fatores mecânicos, meio corrosivo e localização do ataque. A determinação da forma de corrosão auxilia no entendimento do mecanismo e no emprego de medidas adequadas de proteção (ARAUJO, 2012).

Segundo Gentil (2011), as formas de corrosão são classificadas conforme a Figura 3:

- Uniforme ou generalizada - a corrosão ocorre em toda a extensão da superfície, gerando perda de espessura uniforme, não existindo áreas preferenciais para o ataque corrosivo, diferente da corrosão localizada que é provocada em regiões específicas do metal;
- Por placas - a corrosão atua em algumas regiões da superfície metálica e não em toda a sua extensão, produzindo placas com escavações;
- Alveolar - a corrosão atua na superfície metálica originando sulcos ou escavações similares a alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade normalmente

Figura 3 – Formas de corrosão.



Fonte: Gentil (2011).

menor que o seu diâmetro;

- Puntiforme ou por pite - a corrosão trabalha em pequenas áreas localizadas na superfície metálica gerando pontos de desgaste que penetram até o interior do metal;
- Intergranular e transgranular – diferenciam-se pelo processamento da corrosão nos grãos da rede cristalina, enquanto no primeiro caso se processa entre os grãos, o segundo se processa atravessando os grãos, podendo as duas formas citadas, acarretar na corrosão sob tensão fraturante, visto que o material perde suas propriedades mecânicas e pode fraturar ao sofrer esforço mecânico.

2.1.4 Corrosão atmosférica

De acordo com Gentil (2011), o ambiente atmosférico pode ser classificado como marinho, industrial e rural. A ação corrosiva da atmosfera depende fundamentalmente de fatores como: Umidade relativa; Substâncias poluentes (particulados e gases); Temperatura e Tempo de permanência do filme de eletrólito na superfície metálica.

Além desses fatores deve ser considerada a distância em relação ao mar e fatores climáticos, como: intensidade e direção dos ventos, variações cíclicas de temperatura e umidade, chuvas e insolação (radiações ultravioletas) (ALCANTARA et al., 2017).

A agressividade da corrosão atmosférica, pode ser classificada de várias maneiras, dentre elas, a descrita pela norma ISO 12944-2 (STANDARDIZATION, 2017), segundo a qual o ambiente atmosférico pode ser classificado em seis categorias de agressividade, desde muito baixa (C1) até muito elevada (C5), conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação da agressividade da corrosão atmosférica.

CATEGORIA	UNIDADES	TAXA DE CORROSÃO DOS METAIS			
		Aço-carbono	Zinco	Cobre	Alumínio
C1	(g/m ²)/ano	$V_m \leq 10$	$V_m \leq 0,7$	$V_m \leq 0,9$	desprezível
	$\mu\text{m}/\text{ano}$	$V_m \leq 1,3$	$V_m \leq 0,1$	$V_m \leq 0,1$	
C2	(g/m ²)/ano	$10 < V_m \leq 200$	$0,7 < V_m \leq 5$	$0,9 < V_m \leq 5$	$V_m \leq 0,6$
	$\mu\text{m}/\text{ano}$	$1,3 < V_m \leq 25$	$0,1 < V_m \leq 0,7$	$0,1 < V_m \leq 0,6$	—
C3	(g/m ²)/ano	$200 < V_m \leq 400$	$0,5 < V_m \leq 15$	$0,5 < V_m \leq 12$	$0,6 < V_m \leq 2$
	$\mu\text{m}/\text{ano}$	$25 < V_m \leq 50$	$1,7 < V_m \leq 2$	$3,6 < V_m \leq 1$	—
C4	(g/m ²)/ano	$400 < V_m \leq 650$	$15 < V_m \leq 30$	$12 < V_m \leq 25$	$2 < V_m \leq 5$
	$\mu\text{m}/\text{ano}$	$50 < V_m \leq 80$	$2,1 < V_m \leq 4,2$	$1,3 < V_m \leq 2,8$	—
C5	(g/m ²)/ano	$650 < V_m \leq 1500$	$30 < V_m \leq 60$	$25 < V_m \leq 50$	$5 < V_m \leq 10$
	$\mu\text{m}/\text{ano}$	$80 < V_m \leq 200$	$4,2 < V_m \leq 8,4$	$2,8 < V_m \leq 5,6$	—

Fonte: Adaptado de Standardization (2012a).

Tal categorização é naturalmente sujeita a debate porque, muitas vezes, é difícil especificar categorias para essa agressividade da corrosão atmosférica, ou seja, especificar a corrosividade para um determinado local que em princípio pode ser categorizado como C3 ou C5, como o caso de ambientes rurais que pela ação de ventos provindos do mar geram uma concentração relevante de sais na sua atmosfera; ou a ordem de corrosividade de diferentes atmosferas que pode variar de acordo com o metal que está sujeito a tais exposições (SØRENSEN et al., 2009).

No entanto, elas proporcionam um quadro de referência útil para condições típicas encontradas pelos materiais durante o serviço. A agressividade de ambientes rurais é baixa em comparação à agressividade dos ambientes industrial e marinho (DÍAZ et al., 2018a; DÍAZ et al., 2018b; PALRAJ et al., 2015). A Tabela 2, mostra a classificação destes ambientes a partir do trabalho de Sørensen et al. (2009), com base na norma ISO 12944-2.

Ambientes industriais caracterizam-se por elevado teor de dióxido de enxofre que, na presença de chuva, pode resultar em chuva ácida, acarretando, assim, a exposição do material a um ambiente ácido (LIU et al., 2017; PAN et al., 2017; PAN et al., 2016). Já os ambientes marinhos caracterizam-se por um teor elevado de cloreto, que é muito agressivo para metais (PONHSAMPATEA; CHEEWAKET; CHALEE, 2018; ALCANTARA et al., 2017; ALCÁNTARA et al., 2015).

Tabela 2 – Categoria de corrosividade e correspondente impacto ambiental.

CATEGORIA DE CORROSIVIDADE	IMPACTO AMBIENTAL	EXEMPLOS DE AMBIENTES
C1	Muito baixo	Interior de ambientes secos (umidade relativa menor que 60%)
C2	Baixo	Interior de ambientes aquecidos e ventilados
C3	Médio	Interior de ambientes com alta umidade e poluição (áreas de produção)
C4	Forte	Áreas urbanas ou industriais
C5-I	Industrial muito forte	Áreas industriais com alta umidade relativa
C5-M	Marinho muito forte	Áreas litorâneas e offshore

Fonte: Adaptado de Sørensen et al. (2009).

2.1.5 Determinação da velocidade de corrosão

A determinação da velocidade média de corrosão é feita por meio da medida da diferença de peso do material metálico ou da concentração de íons metálicos em solução, por determinados intervalos de tempo em exposição ao meio corrosivo (GENTIL, 2011).

Com base na velocidade média de corrosão, pode-se estimar o tempo de vida útil de uma determinada estrutura. A taxa de corrosão pode ser calculada segundo a norma ASTM G31-72 da *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2004), por meio da Equação 2.7:

$$T = \frac{3,65 \cdot 10^5 \cdot \Delta m}{A \cdot t \cdot \rho} \quad (2.7)$$

Onde,

T - taxa de corrosão média (mm/ano);

Δm - variação ou perda de massa (g);

A - área total da superfície exposta ao ataque corrosivo (mm²);

t - tempo de exposição (dias);

ρ - massa específica (g/cm³).

A norma ISO 9226:2012 (STANDARDIZATION, 2012b), padroniza as dimensões dos corpos de prova, tempo de exposição e critérios para determinação da classificação do ambiente quanto à atmosfera corrosiva, enquanto a norma ISO 9223:2012 (STANDARDIZATION, 2012a) classifica a agressividade da corrosão nesta atmosfera.

2.1.6 Corrosão do aço a longo prazo

A função P é importante para o desenvolvimento de sistemas de classificação de produtos corrosivos e representa bem a velocidade da reação de corrosão de forma a mapear áreas de risco de corrosão e calcular o custo dos danos causados pela deterioração dos materiais (PORTELLA et al., 2012).

O comportamento do fenômeno de corrosão atmosférica de metais é regido pela equação de *Pourbaix*, descrita abaixo na Equação 2.8

$$P = K \cdot t^n \quad (2.8)$$

Onde,

P - perda de espessura do metal (μm) ou perda de peso (g);

t - exposição (meses ou anos);

K - perda de massa para o primeiro ano;

n - efeito passivador do ambiente.

As constantes K e n , são calculadas por linearização logarítmica. A primeira representa uma perda de massa, e a segunda sugere o efeito passivador do ambiente, que depende diretamente do metal, das condições físico-químicas da atmosfera e condições de exposição.

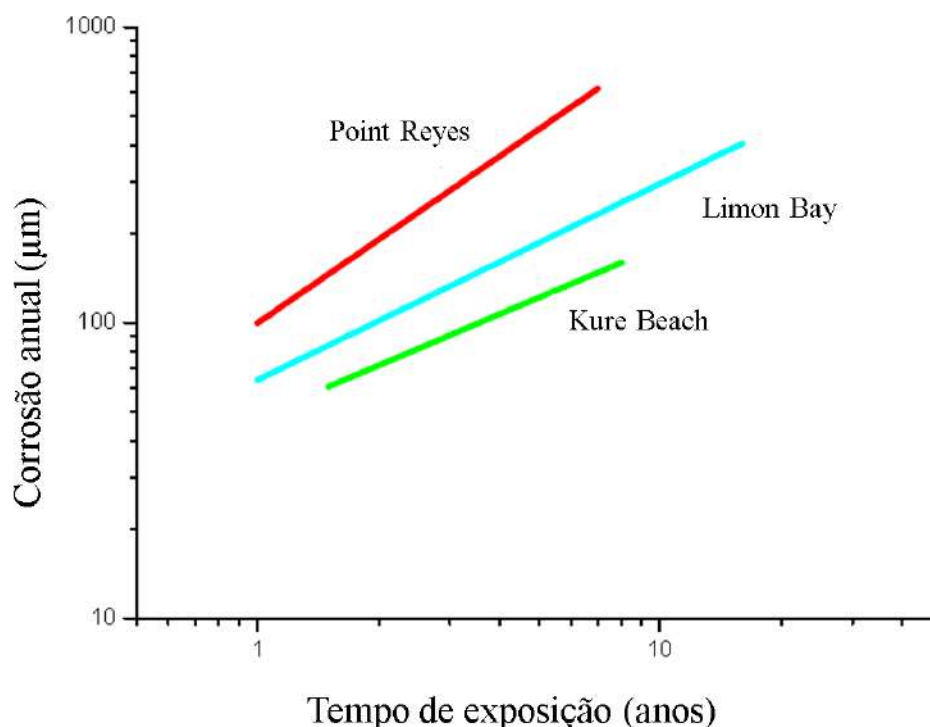
Assim, os dados de penetração de corrosão geralmente são ajustados a uma função de potência envolvendo a transformação logarítmica do tempo de exposição e penetração de corrosão, representada na Equação 2.9:

$$\log P = \log K + n \cdot \log t \quad (2.9)$$

Essa função de poder, também chamada Lei bi-logarítmica, é amplamente usada para prever o comportamento da CA de materiais metálicos, mesmo após longos períodos de exposição, e sua precisão e confiabilidade foram demonstrados por diversos autores (ARABAN; KAHRAM; REZAKHANI, 2016; PANCHENKO; MARSHAKOV, 2016; MELCHERS, 2015).

A Figura 4, obtida por meio dos dados de corrosão do C5 após diferentes tempos de exposição em atmosferas marinhas em diferentes locais de teste (MORCILLO et al., 2013), confirma a verificação da função de potência.

Figura 4 – Gráficos típicos para corrosão do aço carbono versus tempo de exposição em diferentes locais marinhos.



Fonte: Morcillo et al. (2013).

Legenda: Kure Beach (EUA), Limon Bay (Panamá) e Point Reyes (EUA).

2.1.7 Estabilização da camada de óxido

As camadas de óxido geralmente apresentam considerável porosidade, lasca e rachaduras. Camadas de óxido rachadas e sem proteção permitem acesso fácil às espécies corrosivas ao metal substrato e é a situação típica em atmosferas de alta agressividade. No entanto, óxido compacto camadas formadas em atmosferas de baixa agressividade favorecem a proteção do substrato metálico (TUO et al., 2017; KONNO et al., 2015).

Quanto maior a taxa de deposição de Cl^- em atmosferas marinhas, maior o grau de escamação observado e óxido pouco aderente, favorecendo a quebra do filme de óxido (descolamento, lasca) e início de novo ataque. À medida que o tempo passa, o número e o tamanho dos defeitos podem diminuir devido à compactação e à aglomeração da camada de óxido, diminuindo, assim, a taxa de corrosão (FUENTE et al., 2011).

O tempo necessário para atingir um estado estacionário de CA dependerá das condições ambientais da atmosfera onde o aço está exposto.

Morcillo et al. (2014) determinaram os tempos de estabilização das camadas de

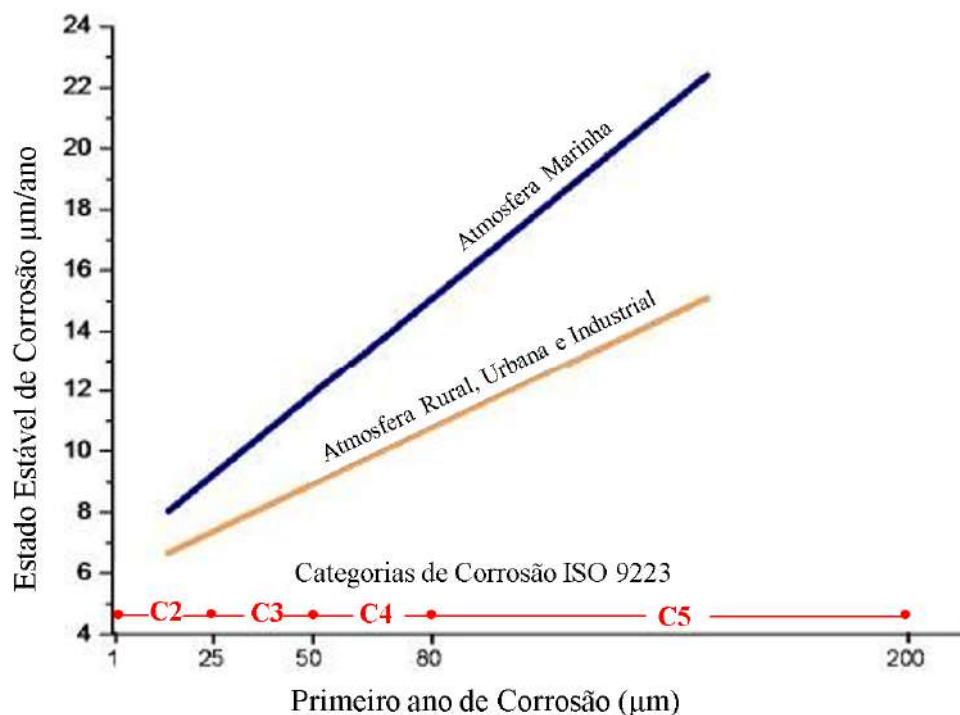
ferrugem formadas, considerando que a taxa de corrosão em estado estacionário deve ser a taxa correspondente ao ano a partir do qual a corrosão diminui em $\approx 10\%$.

O tempo de estabilização da camada de ferrugem diminui conforme a categoria de corrosividade descrita na ISO 9223:2012 (STANDARDIZATION, 2012a), enquanto a atmosfera aumenta. O tempo de estabilização depende, entre outros fatores, do tempo de exposição, da existência de ciclos úmido/seco, da corrosividade da atmosfera e, em resumo, do volume de produtos de corrosão formados. No entanto, um menor tempo de estabilização não implica maior capacidade protetiva da camada de óxido (HÅKANSSON et al., 2017).

A estabilização da camada de óxido ocorre mais rápido em atmosferas marinhas, devido à sua maior corrosividade, mas o valor de proteção dessa camada de óxido é menor que o das camadas formadas em atmosferas menos agressivas (rurais, urbanas, etc.) onde os tempos de estabilização são maiores.

Na Figura 5, observa-se que no estado estacionário, a taxa de corrosão aumenta de acordo com a corrosividade da atmosfera em áreas rurais, urbanas, industriais, atmosferas marinhas (MORCILLO et al., 2013).

Figura 5 – Relação entre taxa de corrosão de aço carbono e a categoria da atmosfera de corrosão de acordo com a ISO 9223:2012 para diferentes tipos de atmosferas.



Fonte: Morcillo et al. (2013).

2.1.8 Corrosão marinha

A questão da corrosão nas regiões costeiras é particularmente relevante tendo em vista a grande importância desta para a sociedade humana. Cerca de metade da população mundial vive em regiões costeiras e a industrialização dos países em desenvolvimento tende a concentrar-se nas plantas de produção perto do mar.

O primeiro estudo rigoroso da salinidade de atmosferas marinhas e do seu efeito sobre a corrosão metálica foi realizado na Nigéria por Ambler e Bain (1955). Durante muitos anos, foi simplesmente aceite que os cloretos marinhos dissolvidos na camada aquosa elevavam consideravelmente a condutividade do eletrólito na superfície do metal e tendiam a destruir quaisquer passivadores de filmes.

Barton (1976) percebeu que o mecanismo que regula os efeitos de íons cloreto (Cl^-) em CA não tinha sido completamente explicado, e que a taxa de corrosão de aço maior em atmosferas marinhas podia prover de outras causas, tais como:

- a natureza higroscópica de Cl^- espécies (cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio (CaCl_2), cloreto de magnésio (MgCl_2)), que promove o processo de corrosão eletroquímica, favorecendo a formação de eletrólitos relativamente baixos de *HR - relative humidity* (umidade relativa);
- a solubilidade dos produtos de corrosão. Assim, no caso do ferro, que não formam cloretos de base estáveis, a ação de cloretos é mais pronunciada do que com outros metais (cobre, zinco, etc.), cujos sais de base estão apenas ligeiramente solúveis.

Nishimura et al. (2000) observou que, com a exceção de alguns estudos, a investigação sobre os mecanismos básicos de formação da camada de óxido e a influência do íon Cl^- , elemento abundante em atmosferas marinhas, tinha sido bastante escassa. Desde então, o conhecimento científico da *MAC - marine atmospheric corrosion* (corrosão atmosférica marinha) avançou muito, talvez como resultado da necessidade de desenvolver novos tipos de *WS - weathering steel* (aços patináveis) com maior resistência a *MAC* que o *WS* convencional, cuja principal limitação é precisamente a sua baixa resistência à corrosão nesse tipo de ambiente (MORCILLO et al., 2014).

2.1.9 Atmosfera marinha

Do ponto de vista de atmosfera marinha de corrosão, o ambiente marinho é caracterizado pela presença de aerossol marinho. Íons de cloreto são abundantes em ambientes marinhos, onde a fonte fundamental de mineralização é constituída por partículas de água salgada que são transportadas ao longo de massas de ar à medida que passam sobre mares, oceanos e lagos de sal (ALCANTARA et al., 2017).

Sais marinhos são, principalmente, de NaCl, todavia, quantidades bastante apreciáveis de íons potássio, magnésio e cálcio também são encontrados em precipitação (CARDOSO et al., 2018; ADACHI; BUSECK, 2015).

2.1.9.1 Aerossóis marinhos

A deposição de partículas de sal sobre uma superfície metálica acelera a corrosão, especialmente, como no caso dos cloretos, se eles podem dar origem a produtos de corrosão solúveis em vez de apenas os produtos ligeiramente solúveis formados em água pura (ALCANTARA et al., 2017).

Apenas partículas de sal e as gotículas de mais do que 10 μm causam corrosão quando depositadas sobre uma superfície metálica (AMBLER; BAIN, 1955). Dado que tais partículas permanecem na atmosfera por um tempo curto, normalmente a corrosão perde completamente seu caráter corrosivo apenas alguns km para o interior.

Todavia, o sal para acelerar a corrosão da superfície metálica tem que estar molhado. O nível de PH que marca o ponto no qual o sal começa a absorver a água do ambiente (higroscopia) parece ser crítica do ponto de vista da corrosão.

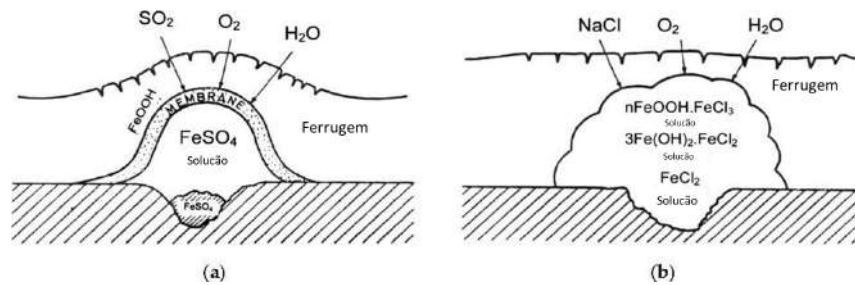
Como foi notado acima, o efeito de Cl^- sobre os mecanismos de corrosão CS tem sido muito menos estudado do que o efeito de SO_2 . Uma alta concentração de Cl^- na camada aquosa sobre o metal e de retenção de umidade em zonas muito degradadas do aumento da oxidação contribui para a formação de cloreto ferroso (FeCl_2), que hidrolisa a água notavelmente aumentando a acidez do eletrólito (Equação 2.10).



Nessa situação, a reação catódica se torna importante, acelerando o processo de corrosão. O ânodo na superfície do aço e nas cavidades que se formaram fica saturado (ou perto de saturação) com a solução altamente ácida FeCl_2 . Ambos os catodos metálicos e os íons de hidrogênio requerem neutralização, que ocorre por meio da entrada de Cl^- , mas isso conduz a um aumento do Cl^- . Essa concentração intensifica a dissolução do metal, influenciando, por sua vez, para a entrada de mais Cl^- , que acelera ainda mais o processo de corrosão. Esse mecanismo de ataque é alimentado pelos próprios produtos de corrosão, e é por vezes referida como “autocatalítico” (BURSTEIN; SHREIR; JARMAN, 1994).

Ao contrário do SO_2 , poluição, Cl^- não causa a formação de ninhos, mas Cl^- aglomerados. A literatura também menciona, por vezes, a formação de “ninhos de cloreto”, representados na Figura 6 .

Figura 6 – Formação de "ninhos de cloreto". (a) um ninho de sulfato; (b) uma aglomeração de cloretos.



Fonte: Alcantara et al. (2017).

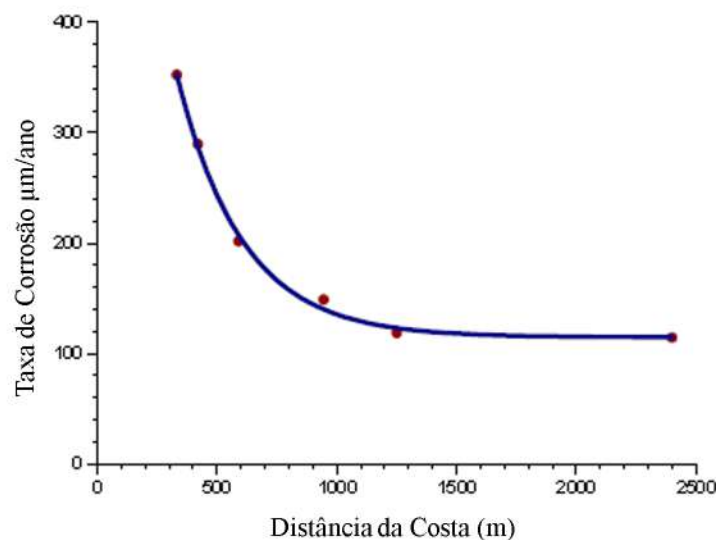
Entretanto, a pressão osmótica de FeCl_2 ou NaCl não influencia a atividade corrosiva, que em vez disso é determinada por outros fatores, tais como a capacidade de cloretos ferrosos e férricos, para formar complexos ($\text{nFeOOH} \cdot \text{FeCl}_3$) ou uma solução de FeCl_3 em FeOOH sob a forma de um gel. Sem originar membrana de óxido/hidróxido amorfo.

2.1.9.2 Salinidade atmosférica

Salinidade atmosférica consiste em um parâmetro relacionado à quantidade de aerossol marinho presente na atmosfera a um certo ponto geográfico. Salinidade em atmosferas marinhas varia dentro de limites muito largos <5 a >300 ($\text{mgCl}^-/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) (MEIRA et al., 2017; ALCANTARA et al., 2017).

Uma redução no tamanho e na massa das partículas de aerossol devido à secagem das gotículas pode aumentar consideravelmente a distância de arrastamento. Em um estudo recente, Alcantara et al. (2017) verificou que a variação da salinidade com a distância a partir da costa mostrou claramente uma relação exponencial, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Variação na taxa de corrosão do aço macio com distância da costa.



Fonte: Alcantara et al. (2017).

Matematicamente, essa relação pode ser expressa pela Equação 2.11:

$$Y = 78288.23 \exp(-X/91.34) + 108.40 \quad (2.11)$$

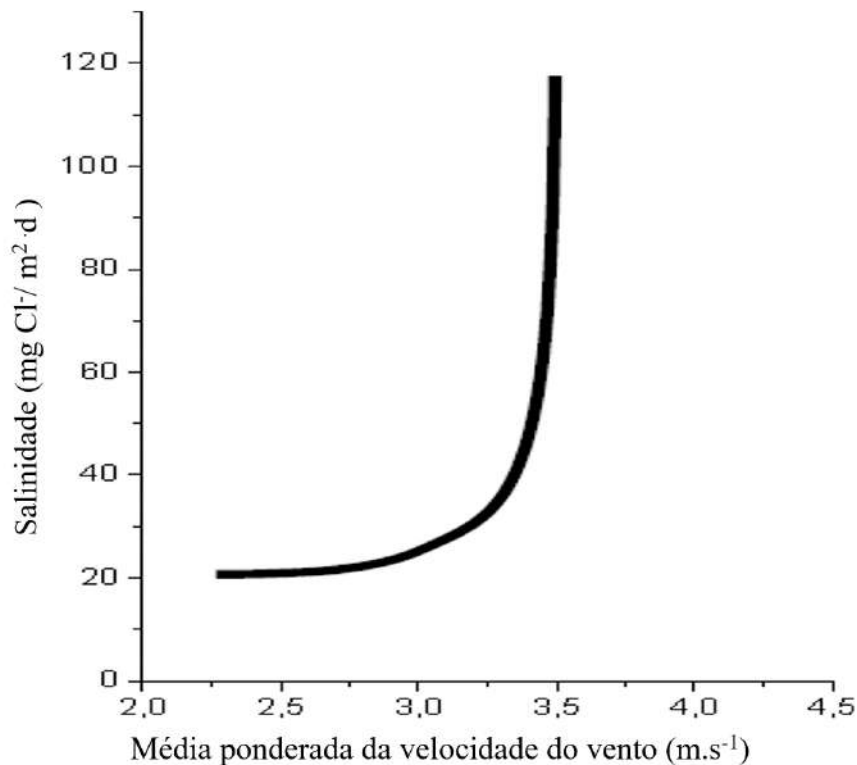
Onde,

Y - salinidade atmosférica (mg);

X - distância da costa (m).

Aerossóis marinhos, que consistem em: aerossóis molhado, aerossóis parcialmente molhado e aerossóis de não-equilíbrio, dependendo da umidade atmosférica, são transportados pelo vento e pode entrar em contacto com o metal e estruturas, acelerando o processo de corrosão. Os tamanhos dos três tipos de aerossóis e os aerossóis secos resultantes foram estimados por Cole, Lau e Paterson (2004). Na Figura 8, observa-se a relação entre a taxa de corrosão e a concentração de cloreto da atmosfera.

Figura 8 – Relação entre salinidade da atmosfera e velocidade média mensal ponderada do vento para ventos marinhos.

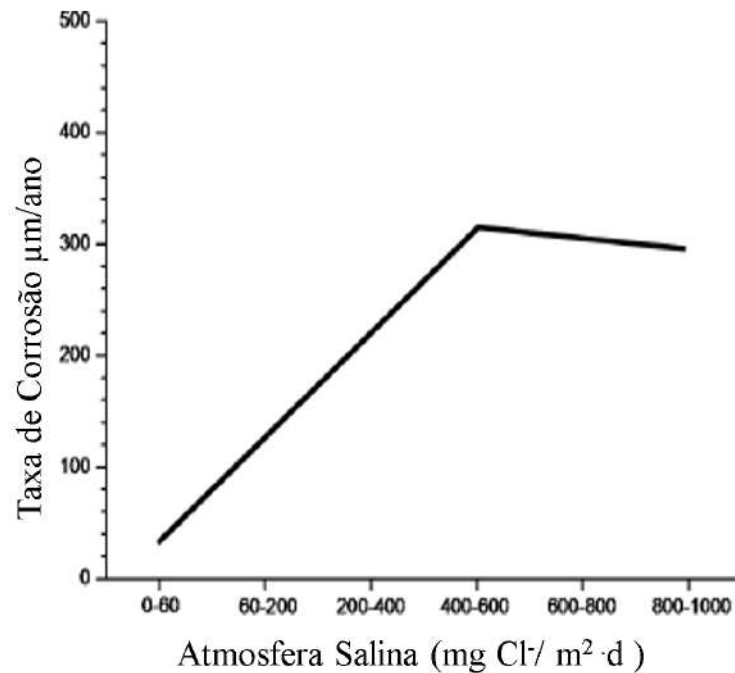


Fonte: Morcillo et al. (2013).

Embora valores extremamente elevados foram registrados perto de arrebentações, a salinidade em outros pontos do litoral perto de águas mais calmas não é mais do que moderada. A concentração de aerossol marinho diminui com a altitude e esta relação pode

ser representada por uma função de diminuição exponencial, que é influenciada pelo regime de vento (MEIRA et al., 2017). Fato evidenciado na Figura 9.

Figura 9 – Variação na taxa de corrosão do aço macio com salinidade em um amplo espectro de salinidades atmosféricas.



Fonte: Alcántara et al. (2015).

Um aumento na velocidade do vento, mesmo na costa, nem sempre leva a um aumento na salinidade, como o resultado final depende da direção do vento. Na verdade, um aumento na velocidade do vento pode até mesmo reduzir o grau de poluição, purificando o local exposto a poluentes. Isso dependerá, naturalmente, da situação do local de exposição, em relação com o mar, e na direção e o tipo de ventos de um determinado tempo (ALCANTARA et al., 2017).

O aerossol marinho é constituído por partículas finas suspensas no ar, sólido ou líquido, cujos tamanhos variam de alguns *angstroms* até várias centenas de microns de diâmetro. As partículas de aerossóis marinhos são geralmente classificadas por tamanho em duas classes:

- partículas grosseiras, com um diâmetro aerodinâmico equivalente de $> 2 \mu\text{m}$; e pequenas partículas, com um diâmetro de $< 2 \mu\text{m}$.
- partículas finas são, por sua vez subdivididas em núcleos *Aitken* ($< 0,05 \mu\text{m}$) e partículas formadas pela acumulação (com diâmetros de entre $0,05 \mu\text{m}$ e $2 \mu\text{m}$).

Em locais costeiros (< 2 km da praia) os aerossóis mais comuns depositados estão na faixa de tamanho grosseiro: 2-100 μm de diâmetro (LI; HIHARA, 2014).

Grandes partículas de aerossol marinho (diâmetro $> 10 \mu\text{m}$) permanecem apenas por um curto período de tempo na atmosfera; quanto maior for o tamanho da partícula, menor é o tempo. Por outro lado, as partículas de um diâmetro de $< 10 \mu\text{m}$ podem viajar centenas de km no ar, sem sedimentação (GUSTAFSSON; FRANZÉN, 1996).

2.1.10 Ensaios de corrosão

Os ensaios de corrosão constituem a maneira mais segura de conseguir respostas rápidas e precisas para a avaliação dos produtos e serviços oferecidos pelo mercado para o combate à corrosão (TALBOT DAVID EJ, 2018).

Os ensaios de corrosão são realizados por várias razões, entre elas, para comparar o comportamento de diferentes metais em um meio específico a fim de selecionar o mais adequado, avaliar o comportamento de um novo metal em um certo meio e investigar métodos de proteção de corrosão em um meio agressivo e determinar os efeitos de metais sobre as características de um meio (TALBOT DAVID EJ, 2018).

Os ensaios de corrosão podem ainda, ser divididos em dois grupos: Ensaios de Campo e Ensaios de Laboratório, descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Principais características dos Ensaios de Campo e Laboratório.

TIPO	ENSAIOS DE CAMPO	ENSAIOS DE LABORATÓRIO
Objetivo	Retratar o comportamento da corrosão em serviço.	Simular condições para obtenção de uma medida acurada do comportamento da corrosão esperado em serviço.
Vantagens	Paradas programadas e outras condições são difíceis de reproduzir em laboratório; Resultados representativos fornecem taxa de corrosão acurada em serviço.	Composição do meio pode ser controlada; O meio pode ser modificado para avaliação de contaminantes ou mudanças no processo; Estudar novos processos e o comportamento dos materiais.
Desvantagens	As condições de serviço não são sempre bem caracterizadas; Não é possível alterar as condições de processo.	As condições de processo em laboratório nem sempre correspondem à realidade.

Fonte: O autor (2022).

2.1.10.1 Ensaios de campo atmosférico

A norma ISO 9226:2012 (STANDARDIZATION, 2012b), padroniza as dimensões dos corpos de prova, tempo de exposição e critérios para determinação da classificação do ambiente quando há atmosfera corrosiva. A norma ASTM G140-02 (ASTM, 2019), padroniza as estantes e posição em relação aos ventos para montagem da estante contendo os corpos de prova para os ensaios.

Basicamente expõem-se determinada quantidade de amostras de materiais, que passaram por prévia caracterização metalográfica, ao intemperismo, por um período geralmente superior a 1 ano.

Amostras são recolhidas periodicamente, e analisadas quanto à perda de massa, a produtos de corrosão gerados, a aspectos morfológicos destes produtos, etc. São acompanhados de forma geral grandezas como temperatura, umidade e concentração de cloretos.

Objetiva-se com isso a composição de curvas de comportamento do material, no que diz respeito à perda de massa em relação as grandezas dispostas acima. Dessa forma, utilizando modelos matemáticos elaborados ou até mesmo, alguma das equações já apresentadas neste estudo, obtêm-se informações que viabilizam a classificação desse material em relação ao seu comportamento corrosivo no ambiente exposto, segundo normas técnicas.

A determinação dos cloretos na atmosfera pode ser realizada pelo método de vela úmida, especificado pela NBR 6211 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2001b), que trata de corrosão atmosférica. Tal método consiste em um cilindro envolvido com gaze cirúrgica fixado a um frasco coletor por meio de uma rolha.

A determinação da umidade relativa e da evolução das temperaturas a que as amostras estão expostas pode ser obtida com a utilização de medidores calibrados, largamente vendidos ao público, sem grandes dificuldades.

2.1.10.2 Ensaios de laboratório - eletroquímicos

Uma reação é considerada eletroquímica quando está associada à passagem de corrente elétrica através de uma distância finita, maior do que a distância interatômica. A distância percorrida pela corrente elétrica na reação de corrosão eletroquímica pode variar bastante, como no caso da corrosão por correntes de fuga de tubulações enterradas nas vizinhanças de uma estrada de ferro eletrificada (WOLYNEC, 2003).

A pilha de corrosão eletroquímica é constituída por quatro elementos fundamentais: uma área anódica onde se verifica a corrosão (reações de oxidação), uma área catódica onde não há corrosão (reações de redução), um eletrólito que é a solução condutora que envolve tanto as áreas anódicas como as catódicas e uma ligação elétrica entre as áreas anódicas e catódicas (WOLYNEC, 2003).

Nos ensaios eletroquímicos, determina-se:

- diferença de potencial através da dupla camada elétrica;
- taxa de corrosão por unidade de área (densidade de corrente anódica);
- capacitância da dupla camada elétrica, que contém informação sobre a natureza da superfície.

2.1.11 Estado da arte

A CA do aço carbono é um tópico extenso que foi estudado por muitos pesquisadores, contudo, ainda existe uma lacuna no sentido de descrever o comportamento corrosivo dos aços estruturais COR 400 e ASTM A36 quando aplicados na microrregião do CIPP, conforme observado no estado da arte descrito na Figura 10.

Figura 10 – Estado da arte.

Autor	Ano	Tipo de Ensaio	Objetivo	Material	Distância do Mar	Contaminantes Analisados	Local
Meira	2006	Ensaio Atmosférico, Perda de Massa	Measurements and modelling of marine salt transportation and deposition in a tropical region in Brazil	NA	On-Shore	CL ⁻	João Pessoa
Luna et al	2008	Ensaio Atmosférico, Perda de Massa	MAPEAMENTO DA CORROSIVIDADE ATMOSFÉRICA DO ESTADO DO CEARÁ	NBR 14643 (Zinco, Cobre, Alumínio, Aço Carbono)	On-Shore	CL ⁻ , SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, SO ₄	Vários
Slamova et al	2012	Simulação	Mapping atmospheric corrosion in coastal regions: methods and results	NA	On-Shore	CL ⁻ , SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, SO ₄	NA
Portella	2012	Ensaio Atmosférico, Perda de Massa	Atmospheric corrosion rates of copper, galvanized steel, carbon steel and aluminum in the metropolitan region of Salvador, BA, Northeast Brazil	NBR 14643 (Zinco, Cobre, Alumínio, Aço Carbono)	On-Shore	CL ⁻ , SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, SO ₄	Salvador
Morcillo et al	2013	Artigo de Revisão	Atmospheric corrosion data of weathering steels. A review	NA	On-Shore	CL ⁻ , SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, SO ₄	NA
Betén et al	2017	Simulação	Annual Atmospheric Corrosion of Carbon Steel Worldwide. An Integration of ISOCORRAG, ICP/UNECE and MICAT Databases	NA	On-Shore	CL ⁻ , SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, SO ₄	NA
Alcántara et al	2017	Artigo de Revisão	Marine Atmospheric Corrosion of Carbon Steel: A Review	NA	On-Shore	CL ⁻ , SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, SO ₄	NA
Pham et al	2019	Ensaio Atmosférico, Perda de Massa	A new analysis of wind on chloride deposition for long-term aerosol chloride deposition monitoring with weekly sampling frequency	NA	On-Shore	CL ⁻	Danang
Ostroski	2019	Névoa Salina, Ensaio Atmosférico, Perda de Massa, MEV e EDS	Avaliação Da Velocidade De Corrosão Nos Equipamentos Portuários	SAE 1020	On-Shore	Nenhum	São Francisco do Sul
Este Trabalho	2020	Ensaio Atmosférico, Perda de Massa	Determinar as taxas de corrosão dos aços ASTM A 709, ASTM A 36 para 4 regiões distintas do Terminal Portuário do Pecém.	ASTM A709, ASTM A36	On-Shore e 2,6 km off-shore	Nenhum	Terminal Portuário do Pecém

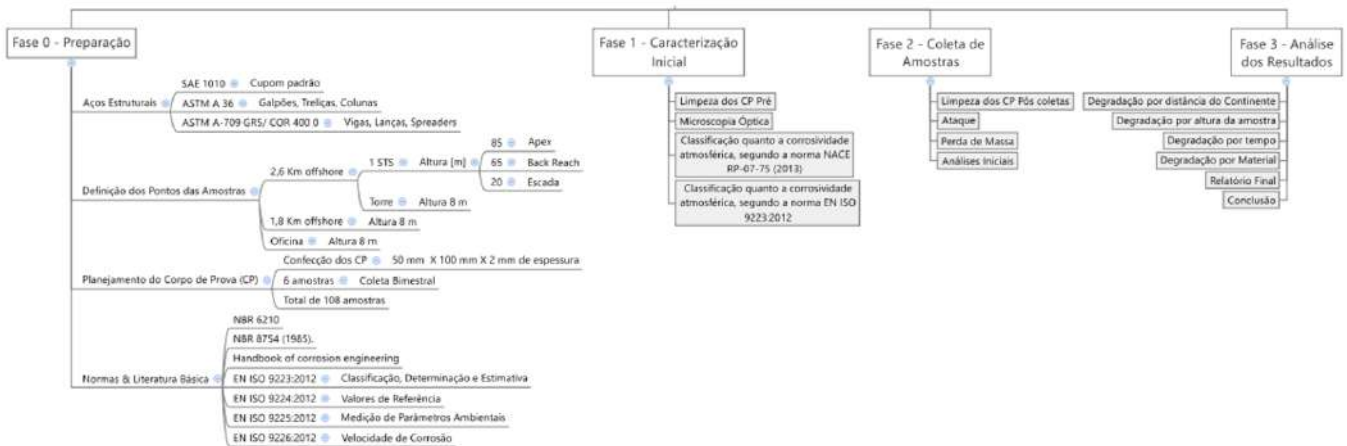
Fonte: O autor (2022).

O presente trabalho possui como os dois maiores diferenciais: o fato de o estudo ser direcionado para o CIPP, região nunca antes estudada; e estudar a corrosão, dos dois aços referenciados, em ambiente *offshore*, a cerca de 3 km da costa, em alturas de 90 m, 65 m, 20 m e 8 m em relação ao solo.

3 Metodologia

Para execução deste projeto foi elaborado um planejamento dividido em 4 etapas conforme Figura 11.

Figura 11 – Fases do projeto.



Fonte: O autor (2022).

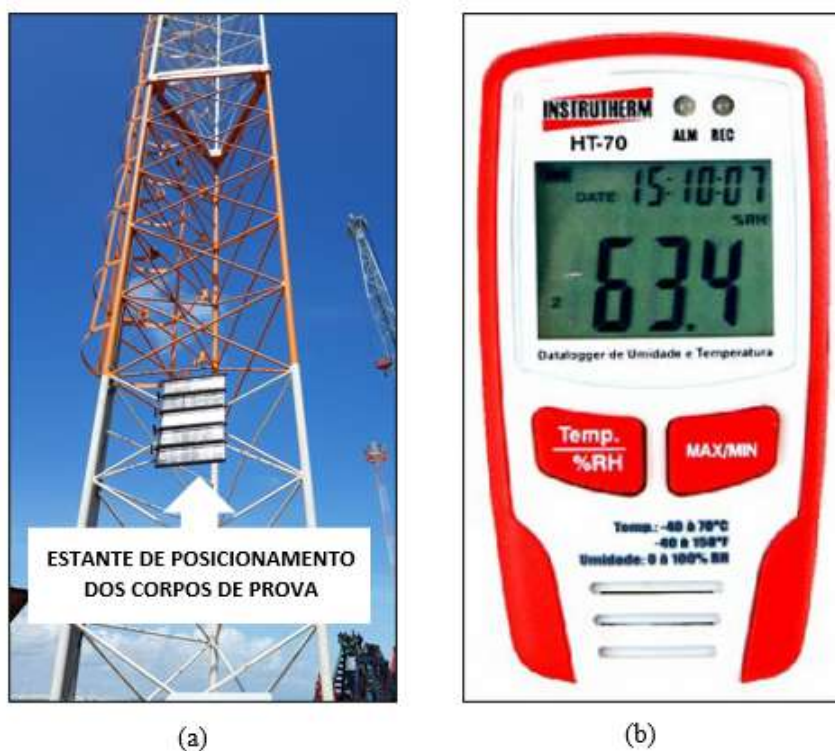
3.1 Resumo descritivo das etapas

Na Fase 0 de preparação foram selecionados os aços para confecção das amostras em função do seu grau de participação nas estruturas e equipamentos do CIPP, onde destacou-se os aços COR 400 e ASTM A36. A escolha do Aço ISO 1010 foi em função deste ser o aço recomendado na norma ISO 9226:2012 para determinação da caracterização do ambiente corrosivo.

Nesta etapa também foram definidos os pontos de posicionamento das amostras assim como suas quantidades e frequência de recolhimento para realização dos ensaios de perda de massa. Na sequência foram confeccionados os corpos de prova (CP) de acordo com a norma ISO 9226:2012, além de reunidas algumas normas para suporte técnico do estudo do processo corrosivo.

Na Fase 1, foram limpas as amostras previamente preparadas, de acordo com a norma ISO 9226:2012, pesadas, avaliadas em microscópio óptico e por fim dispostas em estantes, para realização do ensaio de campo. Foram escolhidas duas estantes para montagem do instrumento para a medição de temperatura e umidade do ambiente. Na Figura 12 estão os equipamentos utilizados.

Figura 12 – Equipamentos utilizados na Fase 1 do projeto. (a) estante de posicionamento dos CP; (b) instrumento de medição de temperatura e umidade.



Fonte: O autor (2022).

Na Fase 2, as amostras foram coletadas, avaliadas, limpas, pesadas e foram obtidos os valores de perda de massa por corpo de prova. Estes valores foram dispostos em uma planilha de excel para posterior análise e modelamento matemático.

Por fim, na Fase 3 de posse de todos os dados foram avaliados todos os objetivos dispostos na Figura 11.

3.2 Preparação das amostras

Foram utilizados 36 corpos de prova de aço carbono A36 e COR 400, com 2 mm de espessura, divididos em 6 estantes amostras para ensaio atmosférico. Além de mais 4 amostras de cada aço para caracterização. Para efeito de comparação com literatura foram utilizadas mais 40 amostras de aço 1010 para caracterização do ambiente corrosivo, segundo a norma ISO 9226:2012.

Para a caracterização metalográfica foram preparados 8 CP as quais foram embutidas em baquelite e em seguidas submetidas às condições de preparação metalográfica padrão, com lixamento em papéis-lixas seguindo as seguintes granulometrias 100, 220, 400, 600, 1200 e *mesh*, seguidas de polimento em pano metalográfico, utilizando-se da solução abrasiva alumina, nas granulometrias de 1, 0,5 e 1/4 μm .

A composição dos aços encontra-se descrita nas Tabelas 4 e 5, assim como podemos ter acesso aos certificados dos aços estudados nos Anexos A, B e C deste documento.

Tabela 4 – Composição química (% em massa) dos aços estudados.

AÇO	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr
A36	0,143	0,704	0,015	0,012	0,016	0,014	0,011	0,018
COR 400	0,08	0,67	0,033	0,0076	0,346	0,011	0,007	0,393
SAE 1010	0,08	0,37	0,012	0,003	0,01	0,01	0,01	0,01

Fonte: O autor (2022).

Tabela 5 – Composição química (% em massa) dos aços estudados (continuação).

AÇO	Mo	Sn	Al	N	Nb	V	Ti	B	Ca
A36	0,003	0,003	0,04	0,0042	0,002	0,001	0,002	0,0001	0,0001
COR 400	0,001	0,001	0,033	0,0043	0,0006	0,001	0,002	-	0,0003
SAE 1010	0,000	0,000	0,041	0,0039	0,001	0,001	0,001	0,000	0,0000

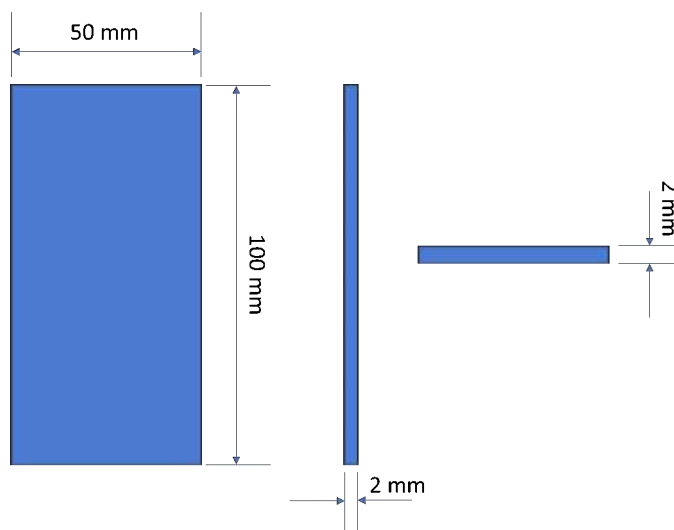
Fonte: O autor (2022).

Para os aços, a quantidade de elementos de liga tem impacto na evolução do fenômeno corrosivo. Este fato é observado claramente quando observados os aços inoxidáveis, os quais possuem a matriz ferrítica semelhante a um aço comum, porém seus percentuais de cromo e alumínio são elevados quando comparados aos mesmos aços.

3.3 Cálculo das áreas das amostras e pesagem

Foi de fundamental importância a medição da massa de cada CP na realização dos experimentos, visto que a taxa de corrosão é calculada em função deste parâmetro. As amostras foram cortadas e limpas de acordo com a norma ISO 9226:2012, Figura 13, em seguida passaram polimento, com intuito de eliminar óxidos, através de discos abrasivos rotativos e ao término, as amostras foram limpas com água corrente a fim de evitar que as partículas retiradas da superfície por abrasão, durante os procedimentos de corte e polimento se instalassem na superfície, contaminando-as, em seguida foram secas com ar quente para ficarem livres de umidade.

Figura 13 – Croqui dos corpos de prova ensaiados.



Fonte: O autor (2022).

3.4 Reagentes utilizados

A limpeza inicial dos CP foi realizada com base na norma ISO 9226:2012 baseado na Tabela 6.

Tabela 6 – Procedimento de limpeza do corpo de prova.

MATERIAL	PRODUTO	TEMPO	TEMPERATURA	COMENTÁRIOS
Aço	500 ml de ácido clorídrico (HCl, p 1,19 g/ml); 3,5 g hexametileno tetramina; Água destilada para perfazer 1000 ml	10 min	20 °C a 25 °C	Um número aumentado de intervalos de decapagem ou tempos mais longos podem ser necessários em certas circunstâncias.

Fonte: O autor (2022).

Os demais reagentes utilizados são identificados na Tabela 7, e seus objetivos.

Tabela 7 – Reagentes utilizados no processamento das amostras.

TÉCNICA	REAGENTE	OBJETIVO
Ataque das amostras	Nital 5%	Revelar microestrutura dos aços
Ensaio de campo	Solução de <i>Clark</i> (HCl, Sb ₂ O ₃ e SnCl ₂)	Retirar óxidos formados pela corrosão, preparando para ensaio de perda de massa

Fonte: O autor (2022).

3.5 Equipamentos e insumos utilizados

Os equipamentos e insumos utilizados na realização da preparação das amostras para as análises posteriores são listados a seguir.

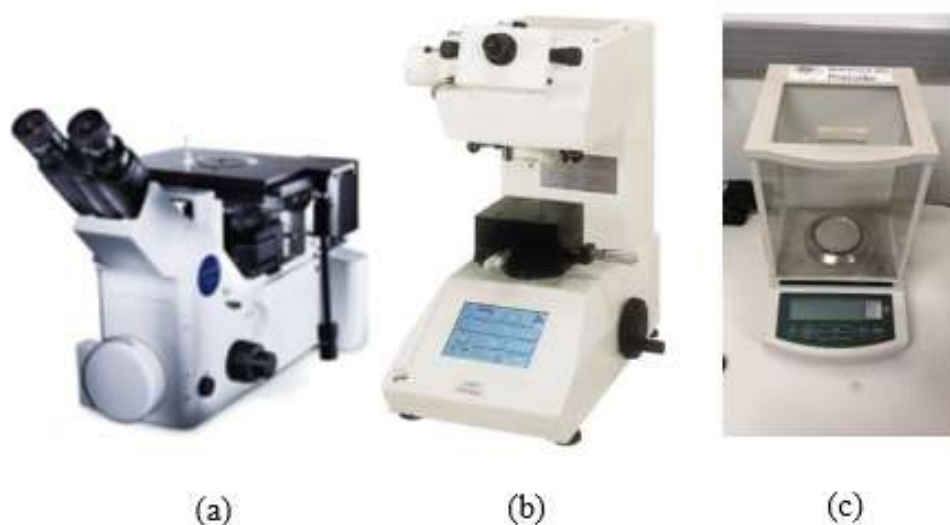
- Cortadora Metalográfica (Teclago, modelo CM80);
- Discos abrasivos;
- Arco-serra;
- Lixadeira e politriz;
- Lixas, panos de polimento e pastas de alumina;
- Reagentes PA (padrão analítico) e vidrarias em geral.

Para as demais etapas foram empregados:

- Microscópio marca *Olympus*, modelo GX51, equipado com uma câmera digital modelo SC 180 e auxiliado pelo software de análise de imagens Analysis Get It.
- Microdureza pelo método *Vickers* - microdurômetro digital *Microhardness Tester da Shimadzu* pertencente ao Laboratório de Materiais (LMAT) do IFCE – Campus Maracanaú com carga de 9,8N e tempo de aplicação de 10 segundos.
- Balança de precisão – Modelo AW220, da *Shimadzu* pertencente ao LMAT/IFCE – Campus Maracanaú.

Na Figura 14, são mostrados os equipamentos utilizados na caracterização das amostras.

Figura 14 – Equipamentos para a caracterização das amostras. (a) Microscópio óptico com sistema de aquisição, (b) Microdurômetro de bancada digital e (c) Balança de precisão.



Fonte: O autor (2022).

3.6 Instrumento medidor de temperatura e umidade

O aparelho da *Instrutherm* modelo HT-70 foi utilizado para medição da temperatura e umidade ao longo de um ano de exposição dos CP.

Especificações

- Grau de Proteção: IP54
- Escala de Umidade: 0 a 100% U.R
- Precisão: $\pm 3,0\%$
- Resolução: 0,1% U.R.
- Escala de Temperatura: (- 40 a 70°C/ - 40 a 158°F)
- Precisão: $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- Resolução: 0,1°C

A medição deu-se em intervalos de 3 min pelo período total de exposição das amostras nos pontos b e d descritos na Figura 17 e representados a seguir na Figura 15. Depois da coleta os dados foram convertidos pelo software HT-70 *Driver* em formato *xls* para posterior análise e comparação com o dados oficiais do Governo do Ceará.

Figura 15 – Posição do HT-70 em campo. (a) Ponto b - Estante com CP a 65 m de altura; (b) Ponto d - Estante com CP a 8 m de altura.



Fonte: O autor (2022).

3.6.1 Tomada de dados oficiais de nível pluviométrico

Para efeitos de comparação dos dados empíricos do estudo com os dados oficiais foram coletadas junto ao Governo do Estado do Ceará, na figura do Orgão: FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, sob Protocolo: 5859040º os dados de nível pluviométrico, temperatura e umidade da região.

Segue as informações oficiais da unidade meteorológica geradora dessas informações.

Nome: Fortaleza

Código Estação: A305

Latitude: -3.815701

Longitude: -38.537792

Altitude: 29.55

Situação: Operante

Data Inicial: 2019-11-07

Data Final: 2021-04-04

Periodicidade da Medição: Diária

3.6.2 Ensaio de campo (corrosão atmosférica)

Os CP foram fixadas de modo a evitar contato e sobreposição das peças vizinhas em uma prateleira de exposição, conforme podemos ver na Figura 16.

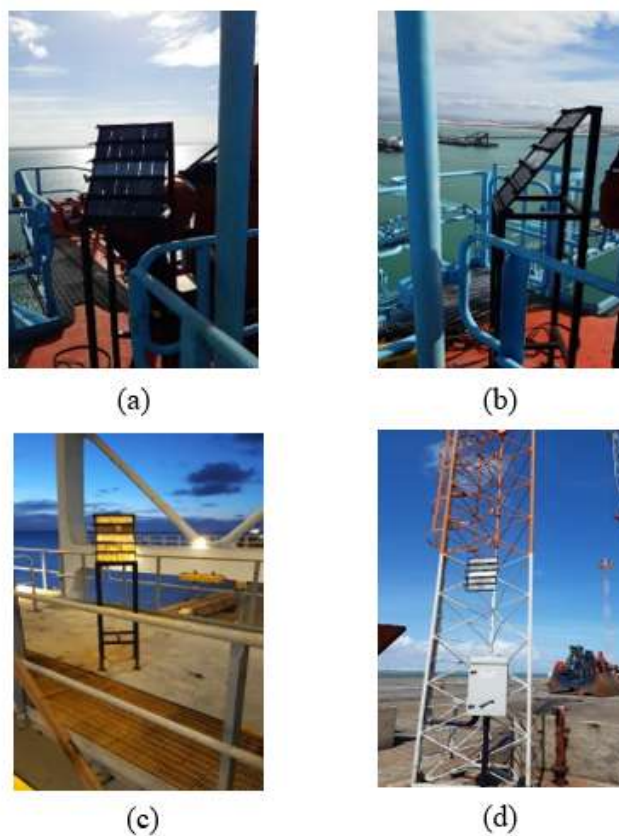
Figura 16 – Disposição das amostras em estante de teste.



Fonte: O autor (2022).

A Figura 17 ilustra as posições em que os CP foram expostos em função da altura em relação ao nível do mar. Estas posições foram escolhidas em função da observação da degradação dos materiais em diferentes alturas em relação ao nível zero de maré.

Figura 17 – (a) Estante com CP a 90 m de altura; (b) Estante com CP a 65 m de altura; (c) Estante com CP a 20 m de altura e (d) Estante com CP a 8 m de altura.



Fonte: O autor (2022).

De acordo com o acompanhamento periódico realizado pelo corpo técnico do CIPP da degradação de estruturas metálicas, observou-se uma maior degradação dos aços estudados neste projeto nos pontos X, Y e Z observados na Figura 18. Portanto, situa as posições em relação à distância do continente em que os CP foram expostos.

Figura 18 – Disposição das estantes contendo os CP em relação a distância do continente.



Fonte: O autor (2022).

Observou-se também que as torres de iluminação localizadas em regiões próximas a estes pontos também apresentavam um maior grau de corrosão em uma região compreendida entre 6 m e 10 m do nível do cais. E em função disso foram escolhidos as posições das amostras.

Por observações realizadas pelo corpo técnico da APM Terminais, empresa que possui ativos dentro do complexo, observou-se diferentes níveis de corrosão em seus equipamentos que estão na região do ponto X e Y, além disso também perceberam que podem demandar diferentes estratégias de controle da corrosão nos diferentes níveis de seus equipamentos, uma vez estes equipamentos possuem alturas superiores a 80 m e sua manutenção demanda um alto grau de investimento e especialização.

Em função disto foram dispostas amostras a 20 m, 65 m e 85 m buscando identificar os diferentes comportamentos corrosivos nestas regiões.

Também há o Ponto Z na Figura 17, onde o fenômeno corrosivo é bem acelerado, fenômeno este que pode estar associado a presença de contaminantes como o minério de ferro e carvão, proveniente das operações portuárias realizadas no entorno.

Por último, há o fenômeno corrosivo que passa no Ponto K que trata-se de uma região já no continente a cerca de 600 m da praia, sem a presença tão marcante dos aerossóis formados pela arrebentação das ondas, porém nesta região se encontram todas

as oficinas de manutenção das companhias que prestam serviços dentro das instalações da CIPP.

3.6.3 Perda de massa e velocidade de corrosão

Após a limpeza, os corpos de prova expostos ao intemperismo foram pesados novamente para determinar a perda de massa ocorrida no período de exposição. Por meio do valor da massa perdida e do tempo de exposição determina-se a taxa de corrosão uniforme.

Após tratamento, os dados encontrados são alocados em um gráfico em função do tempo. Para a análise da taxa de corrosão nas chapas foi utilizada a Equação 2.7, adotando o valor da constante de proporcionalidade (K) em mm/ano e densidade de 7,86 g/cm³, conforme literatura.

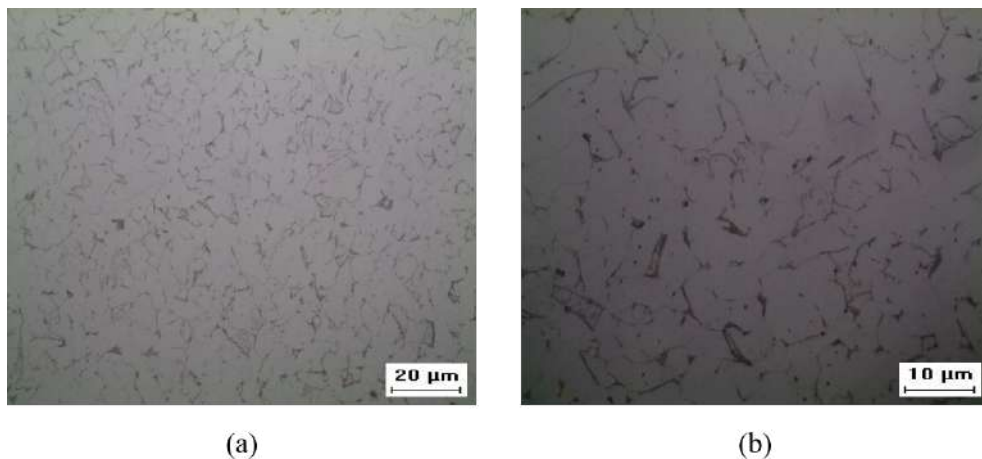
4 Resultados e Discussão

4.1 Caracterização microestrutural

Foram obtidas micrografias dos materiais em estudo, na condição como recebida, afim de realizar posteriormente análise de possíveis mudanças na morfologia das fases.

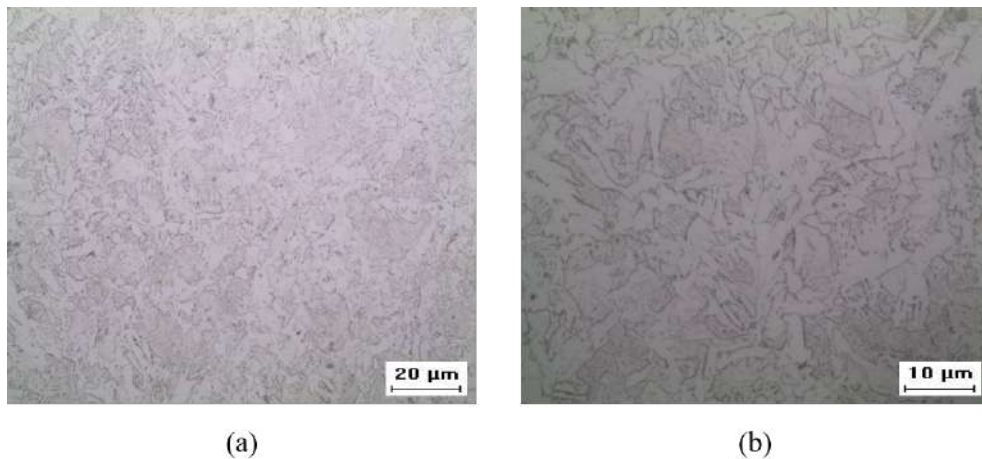
Nas Figuras 19, 20 e 21, são mostradas as micrografias dos aços SAE 1010, A36 e COR 400, respectivamente. Portanto, para dar suporte a trabalhos posteriores, faz-se pertinente a divulgação das microestruturas observadas nos três aços mencionados acima.

Figura 19 – Micrografias do aço SAE 1010 recebido. (a) Aumento: 500X. (b) Aumento: 1000X.



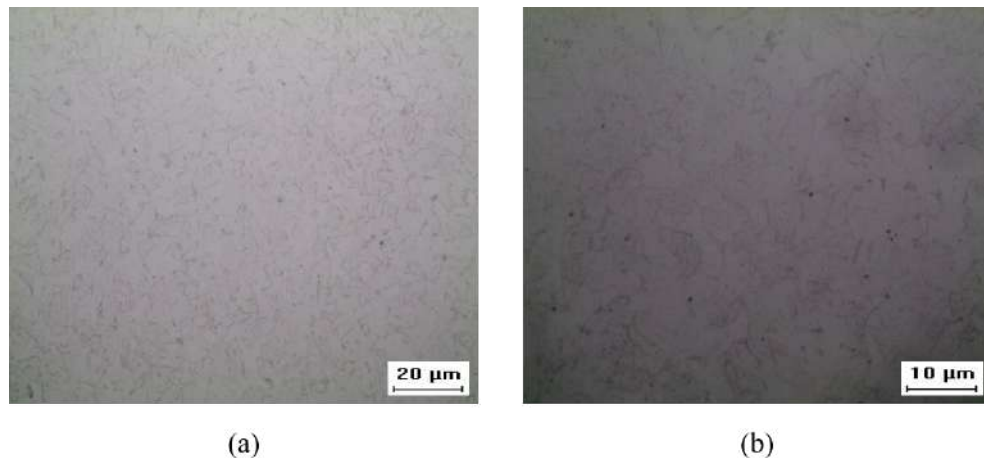
Fonte: O autor (2022).

Figura 20 – Micrografias do aço A36 recebido. (a) Aumento: 500X. (b) Aumento: 1000X.



Fonte: O autor (2022).

Figura 21 – Micrografias do aço COR 400 recebido. (a) Aumento: 500X. (b) Aumento: 1000X.



Fonte: O autor (2022).

As microestruturas observadas nos aços A36 e COR 400, foram avaliadas e comparadas com Colpaert, Costa et al. (2008). Observa-se a presença de perlita refinada, grãos de tamanho uniforme e bem distribuídos sem a presença de inclusões grosseiras, com o nível de aumento empregado, ou trincas nas amostras avaliadas antes de sua exposição.

De acordo com Gentil (2011), o refinamento do grão pode modificar o comportamento eletroquímico do material como consequência da variação na densidade de contornos de grão. Foi sugerido por Ralston, Birbilis e Davies (2010), que a influência do refinamento de grãos na corrosão depende da habilidade que uma superfície possui em ser passivada.

Defeitos como inclusões grosseiras e trincas possivelmente são pontos onde teríamos uma maior concentração de energia, os quais têm, portanto, uma alta probabilidade de contribuir para a formação de pilhas eletroquímicas e, assim, dar início ao processo corrosivo localizado.

Foram identificados pequenos pontos negros, com formato elíptico, os quais foram eliminados mediante nova execução do processo de limpeza e secagem.

4.2 Inspeção visual

As inspeções visuais realizadas subsidiaram a identificação das principais patologias por ataque corrosivo em função da atmosfera da região. As amostras ficaram expostas aos particulados associados a aerossóis marinhos, sendo fortemente atacados pelo processo corrosivo. Na Figura 22 podem ser visualizadas amostras dos aços A36, COR 400 e SAE 1010 antes da exposição e observa-se no aço COR 400 um maior nível de marcas de esmeril em função do maior nível de corrosão superficial deste aço prévio ao processo de limpeza mecânica realizado.

Figura 22 – Amostras dos aços antes da exposição.



Fonte: O autor (2022).

As amostras foram retiradas conforme Tabela 8 sempre na sequência da esquerda para direita. A amostra de aço 1010 só foi retirada ao término do projeto para determinação da taxa de corrosão do meio.

Tabela 8 – Data da exposição e períodos (em dias) de cada recolhimento das amostras.

DATA	AÇÃO	DIAS	TOTAL DE DIAS
07/11/2019	Exposição	0	0
09/01/2020	Recolhimento 1	63	63
09/03/2020	Recolhimento 2	60	123
25/08/2020	Recolhimento 3	169	292
07/12/2020	Recolhimento 4	104	396
09/02/2021	Recolhimento 5	64	460
04/03/2021	Recolhimento 6	23	483

Fonte: O autor (2022).

Aos 63 dias de exposição foram retiradas as primeiras 36 amostras e avaliadas visualmente antes de iniciar o processo de decapagem para obtenção dos dados de perda de massa. E com base na Figura 18 do Capítulo 3, foram apresentados os aspectos visuais das amostras estudadas em suas respectivas estantes antes de sua retirada para decapagem. Contudo, as áreas em que estão localizados os Pontos X e Y devem ser previamente analisadas, para auxiliar nas discussões posteriores.

Verificou-se que as amostras que estavam na estante localizada no Ponto Y, visualmente apresentaram a maior degradação quando comparadas as amostras nas demais estantes, localizadas nos outros 5 pontos estudados. Este fato pode estar associado a forte presença de aerossóis provenientes da arrebentação diretamente a frente desta posição, o que possivelmente proporciona para este microambiente uma maior concentração de íons de cloreto.

O conhecimento deste fenômeno é ímpar para definição da estratégia de manutenção preventiva das torres de iluminação que sofrem os efeitos da corrosão e geram perdas financeiras com manutenção corretiva na ordem de milhares de reais por ano.

Na Figura 23, observa-se que onde o Ponto X está localizado, tratar-se de uma área de estocagem (importação e exportação). Portanto, há presença quase constante de pilhas de contêineres que podem caracterizar uma barreira física.

Figura 23 – Ponto X localizado na área de estocagem de contêineres.



Fonte: O autor (2022).

Já na Figura 24, observa-se que na área em que o Ponto Y está localizado, não existem barreiras físicas, o que pode ter influenciado nos resultados obtidos dessa região.

Figura 24 – Ponto Y localizado em área sem barreira física.



Fonte: Google (2022).

Na Figura 25, podem ser visualizadas a disposição das amostras em uma estante localizada no Ponto Y, com a indicação das suas posições na estante.

Figura 25 – Estante localizada no Ponto Y a 8 m de altura.



Fonte: O autor (2022).

Cabe ressaltar que este trabalho foi realizado em parceria com o discente Daniel Alencar fato este que explica a presença de mais dois tipos de aços na estante apresentada.

Na Figura 26, pode ser visualizada a estante a 20 m de altura localizada no Ponto X, na qual foi observado o 2º maior nível degradação nas amostras, o que foi atribuído ao fato de tratar-se de uma área de estocagem, como já mencionado na Figura 23.

Portanto, as pilhas de contêineres propiciam uma barreira física aos aerossóis provenientes da arrebentação.

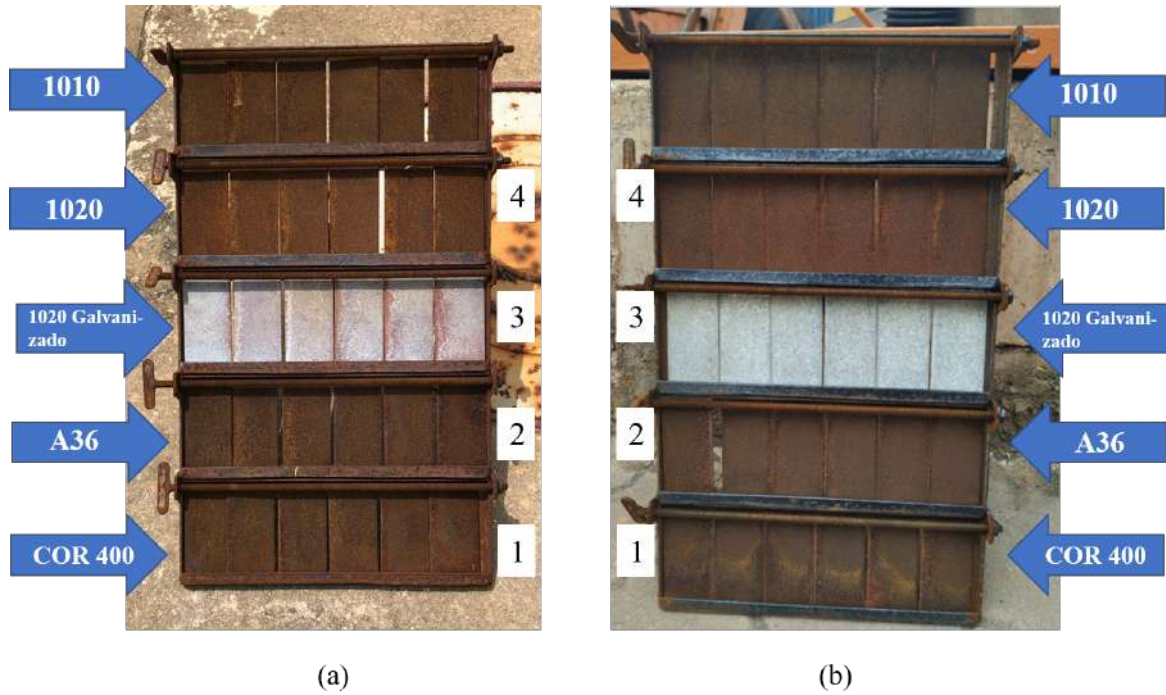
Figura 26 – Estante localizada no Ponto X a 20 m de altura.



Fonte: O autor (2022).

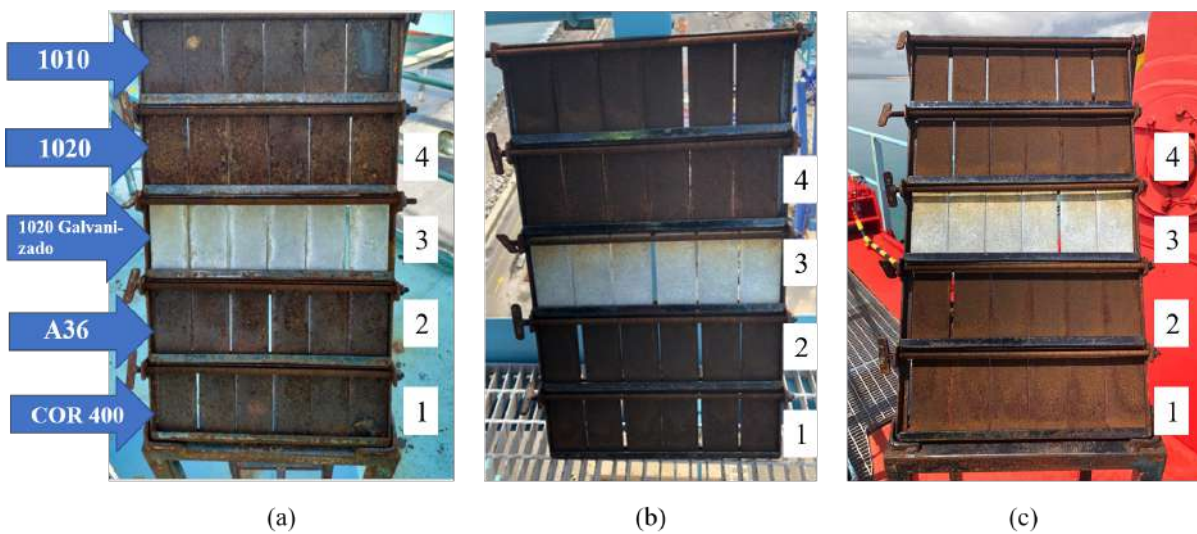
Na Figura 27 podem ser vistas as amostras após 63 dias de exposição, nos Pontos Z, K e na Figura 28, são apresentadas as estantes localizadas no Ponto X, dispostas a 20 m, 65 m e 85 m de altura ao nível do mar.

Figura 27 – Estantes após 63 dias. (a) Ponto Z a 8 m de altura. (a) Ponto K a 8 m de altura.



Fonte: O autor (2022).

Figura 28 – Estantes no Ponto X. (a) 20 m de altura. (b) 65 m de altura. (c) 85 m de altura.

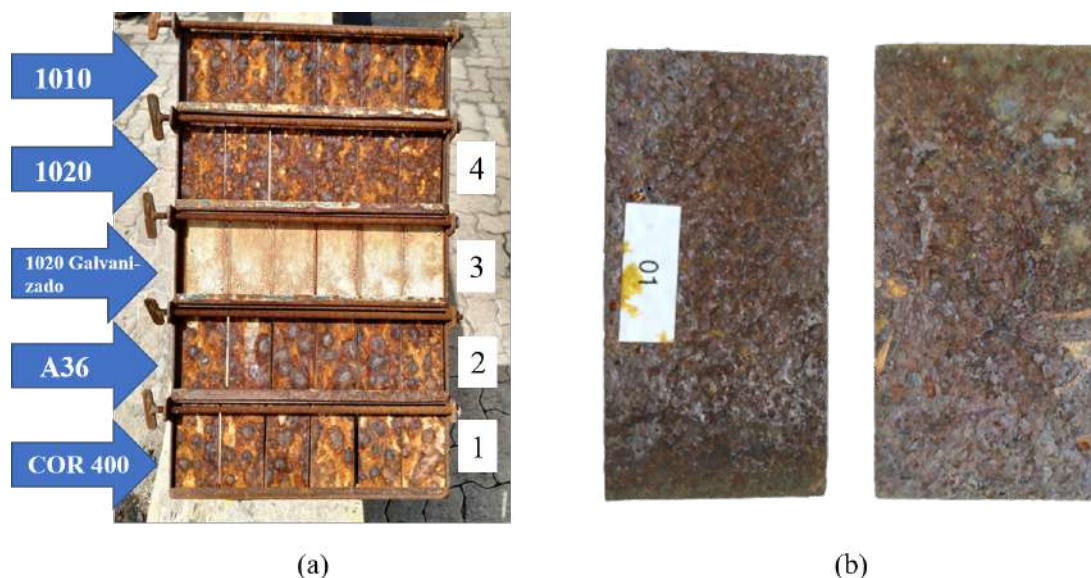


Fonte: O autor (2022).

De forma geral em função das inspeções visuais superficiais foi possível identificar que o processo de corrosão se manifestou sobre toda a extensão da superfície das amostras,

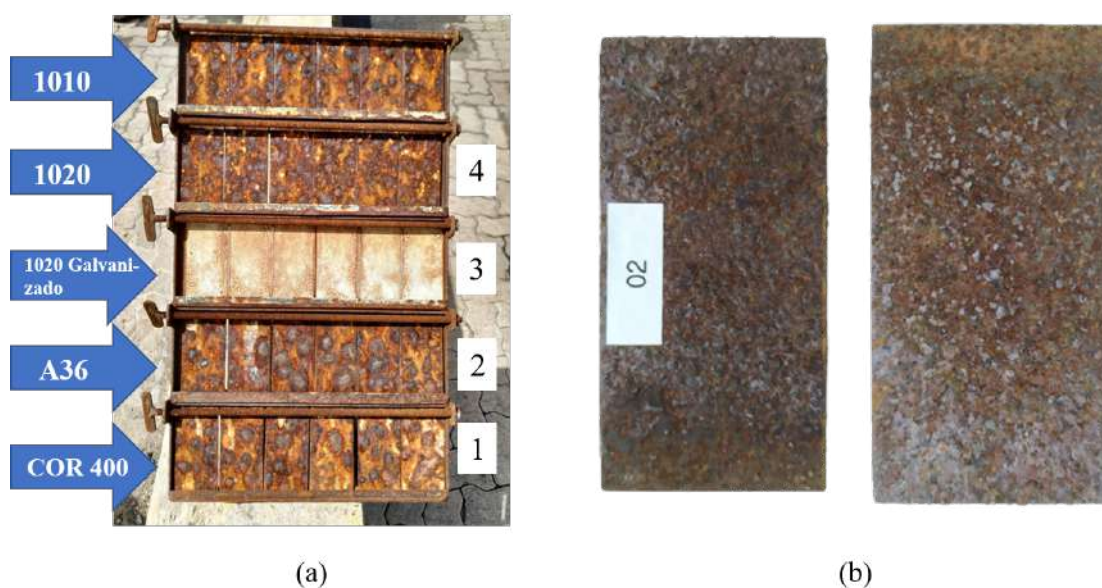
com produtos de óxidos de ferro, como a cor e texturas características, ocorrendo perda uniforme de espessura, exceto pelo comportamento observado nas amostras da estante localizada no Ponto Y a 8 m de altura, nas quais apresentaram uma corrosão severa com a formação de alvéolos mais profundos e característicos de um ambiente de corrosão agressivo, o que podemos observar nas Figuras 29 e 30, onde são mostrados grumos dos aços COR 400 e A36, respectivamente e suas posições na estante.

Figura 29 – Aço COR 400. (a) Estante Ponto Y a 8 m. (b) Amostras da posição 1 da estante.



Fonte: O autor (2022).

Figura 30 – Aço A36. (a) Estante Ponto Y a 8 m. (b) Amostras da posição 2 da estante.



Fonte: O autor (2022).

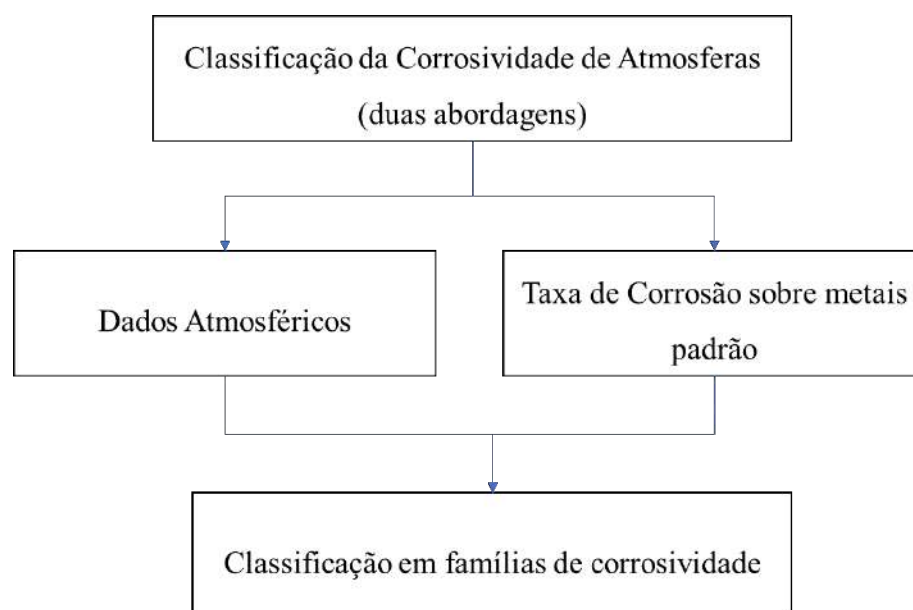
Infelizmente com a perda das estantes das posições Y e Z não foi possível seguir a avaliação destes pontos tao interessantes, em função da retirada involuntária das estantes de sua posição inicial.

Este processo de inspeção visual foi repetido em todas as 5 etapas seguintes sempre de forma previa a realização dos ensaios de perda de massa. Houve também momentos em que foi necessário repetir o processo de decapagem para assegurar a limpeza da superfície quanto a presença de óxidos, antes de sua pesagem, uma vez que para as amostras localizadas no Ponto X (20 m), ao contrário das demais amostras apresentavam um produto de corrosão com forte aderência ao substrato. Os motivos para este fenômeno não foram estudados neste projeto.

4.3 Dados climáticos

Foi realizado um acompanhamento dos dados climáticos de nível pluviométrico, temperatura e umidade relativa do ar da região para suporte a classificação da corrosividade de atmosferas apresentada na Figura 31, baseando-se na norma NBR 14643 (ABNT, 2001a).

Figura 31 – Esquema com a classificação da corrosividade de atmosferas.



Fonte: ABNT (2001a).

Os dados climáticos médios (precipitação de chuva, temperatura e umidade relativa), na região estudada referentes ao período total de exposição das amostras, de 483 dias, assim como, seus respectivos desvios padrão e máximos podem ser visualizados na Tabela 9.

Tabela 9 – Dados de precipitação, temperatura e umidade relativa.

ANO	2019	2020	2021	TOTAL GERAL
MÉDIA DE PRECIPITAÇÃO TOTAL DIÁRIA (mm)	5,08	12,94	13,49	12,52
DESVIO PADRÃO DE PRECIPITAÇÃO TOTAL DIÁRIO (mm)	1,13	5,27	6,54	5,06
MÁX. DE PRECIPITAÇÃO TOTAL DIÁRIO (mm)	27,80	113,20	102,60	113,20
MÉDIA DE TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA (°C)	28,25	27,25	27,45	27,39
DESVIO PADRÃO DE TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIO (°C)	0,45	0,89	1,06	0,94
MÁX. DE TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA (°C)	29,25	28,99	28,88	29,25
MÍN. DE TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA (°C)	26,12	24,08	23,58	23,58
MÉDIA DE UMIDADE RELATIVA DO AR, MÉDIA DIÁRIA (%)	67,22	73,27	74,21	72,80
DESVIO PADRÃO DE UMIDADE RELATIVA DO AR, MÉDIA DIÁRIA (%)	3,79	7,06	6,09	6,89
MÁX. DE UMIDADE RELATIVA DO AR, MÉDIA DIÁRIA (%)	84,25	91,29	89,96	91,29
MÍN. DE UMIDADE RELATIVA DO AR, MÉDIA DIÁRIA (%)	61,88	59,83	65,67	59,83

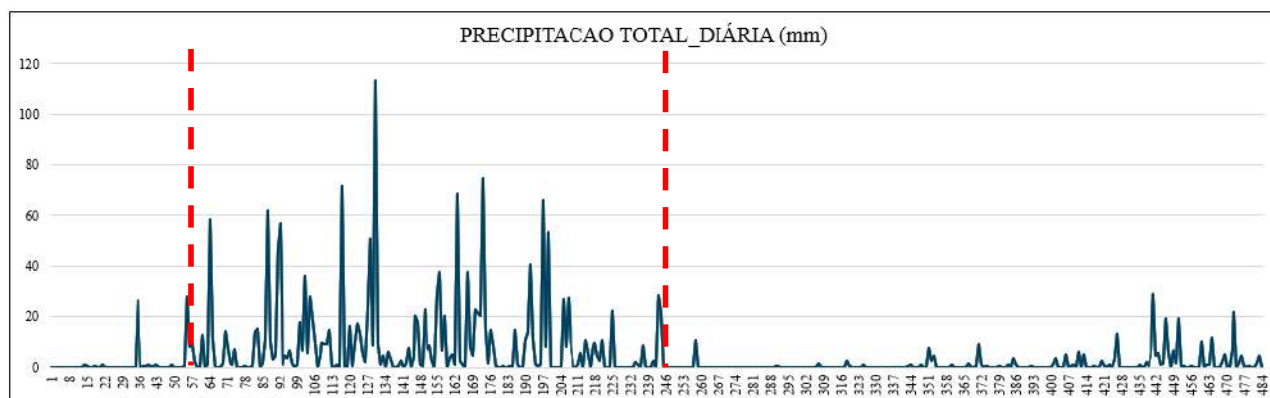
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

Na Figura 32 são apresentados os gráficos de Precipitação, Temperatura e Umidade.

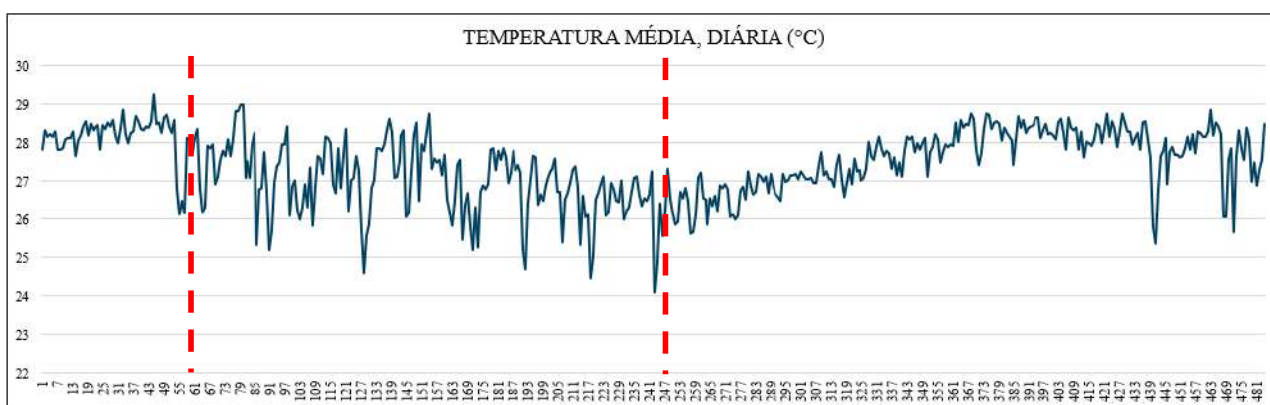
Para o período compreendido entre os dias 57 e 246, observou-se a maior precipitação do período da amostragem, assim como, a maior umidade relativa o de certa forma, pode gerar um possível impacto destes dois fatores em relação ao fenômeno corrosivo e a formação da camada passivadora.

Uma vez que estas variáveis, aliadas a temperatura, têm forte relação com a formação de pilhas entre diferentes superfícies do mesmo material e em sua maioria as conexões entre elementos estruturais dão-se por meio de parafusos e porcas e, que por fim, esta configuração de fato é bastante presente no ambiente estudado, sendo assim, é propício a existência destas pilhas no período mencionado.

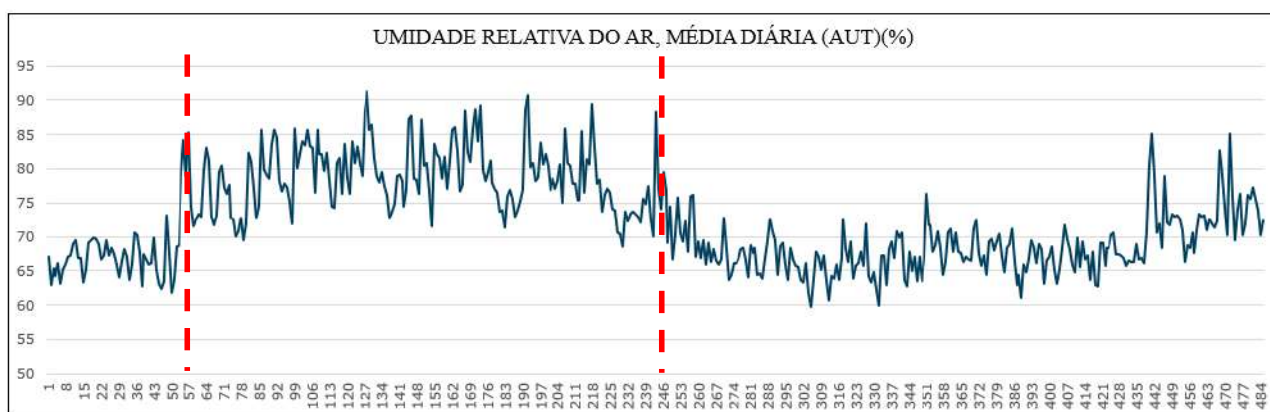
Figura 32 – Gráficos. (a) Volume de precipitação (mm). (b) Temperatura média diária em 0 °C. (c) Umidade relativa do ar.



(a)



(b)



(c)

Fonte: O autor (2022)

4.3.1 Classificação em termos de tempo de superfície úmida

De acordo com a norma NBR 14643 (ABNT, 2001a), o umedecimento de superfícies é causado por vários fatores, por exemplo, orvalho, chuva e alta umidade. O intervalo de tempo em que a umidade relativa $UR > 80\%$ e a temperatura $T > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ é usado para estimar o tempo de superfície úmida (τ), calculado da superfície sofrendo ataque.

O tempo de superfície úmida calculado não corresponde necessariamente ao tempo de superfície úmida real, porque a molhabilidade é influenciada pelo tipo de metal, forma, massa e orientação do objeto, quantidade de produtos de corrosão, natureza de poluentes sobre a superfície e outros fatores. Estas considerações podem aumentar ou diminuir o tempo de superfície úmida real. No entanto, este critério é satisfatório para a caracterização de atmosferas.

Podemos visualizar a classificação na Tabela 10, na qual são apresentadas as categorias de corrosividade (t1 a t5), determinadas a partir do (τ).

Tabela 10 – Classificação em termos de tempo de superfície úmida.

CATEGORIA	TEMPO/ UMIDADE		EXEMPLOS
	horas/ ano	%	
t1	≤ 10	$\leq 0,1$	Microclima interno com controle climático
t2	$10 < \tau \leq 250$	$0,1 < \tau \leq 3$	Microclimas internos com controle climático, exceto para espaços internos sem ar condicionado em climas úmidos
t3	$250 < \tau \leq 2500$	$3 < \tau \leq 30$	Atmosferas externas em climas secos, frios e alguns temperados, galpões adequadamente ventilados em climas temperados
t4	$2500 < \tau \leq 5500$	$30 < \tau \leq 60$	Atmosferas externas em todos os climas, (exceto para os climas secos e frios), galpões ventilados em condições úmidas, galpões não ventilados em clima temperado
t5	$5500 < \tau$	$60 < \tau$	Alguns climas úmidos, galpões não ventilados em condições úmidas

Fonte: ABNT (2001a).

Esta variável cujo comportamento pode ser visualizado na Figura 32, possui comportamento com valores sempre superiores a 60%, com média no período estudado de 72,8% o que nos indica uma provável categorização T5 (Alguns climas úmidos, galpões não-ventilados em condições úmidas), de acordo com a Tabela 10.

No período estudado de 483 dias diretamente seguintes ao posicionamento da primeira amostra em campo houveram 229 dias sem precipitações, restando assim 254 dias com chuva, ou seja aproximadamente 53% do tempo houve a presença de água lavando os sais e demais elementos que repousavam sobre as superfícies das amostras.

Assumindo, por hipótese, que destes dias tiveram aproximadamente 12 horas de chuva, em média, por dia chuvoso chegaríamos a 2256 horas de chuva/ano. Esta hipótese nos levaria a categoria de tempo superfície úmida classificada em T3 (atmosferas externas em climas secos, frios e alguns temperados, galpões adequadamente ventilados em climas temperados).

Por fim, baseando-se na Tabela 11, pode ser averiguado que o tipo de clima ao ar livre, mais aproximado em função das definições contidas na norma seria o úmido quente, uniforme, cuja categoria de tempo de superfície úmida estaria ao redor de t4 e t5.

Tabela 11 – Tempos de superfície úmida calculados e as características climatológicas.

TIPO DE CLIMA AO AR LIVRE	VALOR MÉDIO DOS VALORES EXTERNOS ANUAIS			TEMPO DE SUPERFÍCIE ÚMIDA CALCULADO (h/a) UR > 80% e T > 0°C	CATEGORIA TEMPO DE SUPERFÍCIE ÚMIDA
	TEMPERATURA BAIXA °C	TEMPERATURA ALTA °C	TEMPERATURA MÁX. COM UR ≥ 95% °C		
Extremamente frio	- 65	+ 32	+ 20	0 -100	t1 ou t2
Frio	- 50	+ 32	+ 20	150 - 2500	t2 ou t3
Temperado frio	- 33	+ 34	+ 23	2500 - 4200	t4
Temperado quente	- 20	+ 35	+ 25		
Seco quente	- 20	+ 40	+ 27	10 - 1600	t2 ou t3
Seco moderadamente quente	- 5	+ 40	+ 27		
Seco extremamente quente	+ 3	+ 55	+ 28		
Úmido quente	+ 5	+ 40	+ 31	4200 - 6000	t4 ou t5
Úmido quente, uniforme	+ 13	+ 35	+ 33		

Fonte: ABNT (2001a).

De fato o que se pode retirar desta análise destas duas variáveis é que o ambiente estudado possui uma umidade relativa média de 72,8% com desvio padrão na ordem de 6,89% bem próximo dos 80% , uma temperatura média de 29,25 °C com desvio padrão de 0,89 °C, porém passa por períodos largos de estiagem evidenciados na Figura 32 (a), o que pode contribuir para impactar o fenômeno corrosivo nos aços estudados, não obstante

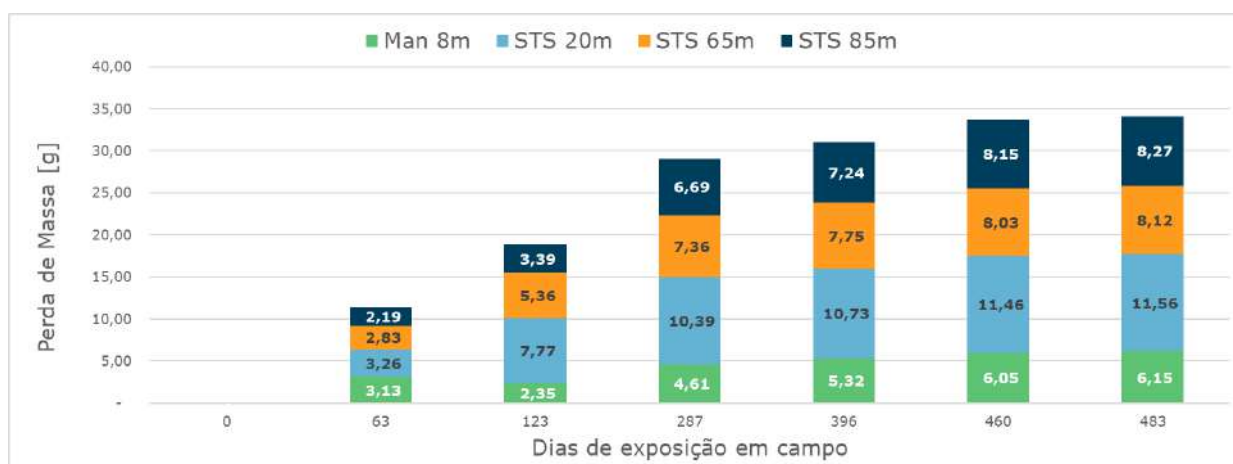
entendemos com base na informação estudada que a melhor classificação de tempos de superfície úmida calculados em função das características climatológicas selecionados das zonas microclimáticas da terra seria t4.

4.4 Avaliação da perda de massa para o aço A36

Foi possível observar através das inspeções visuais que nas superfícies das amostras foi preponderante a presença de corrosão generalizada e uniforme, como relatado anteriormente, sem prejuízo a este fato também observou-se uma relação entre a quantidade do produto de corrosão gerado e o tempo de exposição da amostra em campo.

A Figura 33 retrata que após 287 dias de exposição, as amostras de aço A36 apresentaram mais produtos de corrosão que quando comparadas às amostras de 63 dias, porém não foi notado considerável perda de espessura, indicando assim que possíveis contaminantes aderiram as laminas de produto, aumentando seu volume, o que foi atestado visualmente.

Figura 33 – Gráfico Perda de massa x Dias em campo para o aço A36.



Fonte: O autor (2022)

Nota-se na Tabela 12 uma redução no percentual de perda de massa das amostras quando comparadas a amostra imediatamente anterior, indicando uma redução na velocidade do processo corrosivo. Contudo não se pode afirmar, sem uma análise, microscópica, mais profundas, que houve o início do processo de estabilização da corrosão.

Tabela 12 – Percentual de redução de perda de massa com o tempo (aço A36).

DIAS	PONTO K	PONTO X (20 m)	PONTO X (65 m)	PONTO X (85 m)
63	-	-	-	-
123	25%	138%	89%	55%
287	96%	34%	37%	98%
396	15%	3%	5%	8%
460	14%	7%	4%	13%
483	2%	1%	1%	1%

Fonte: O autor (2022).

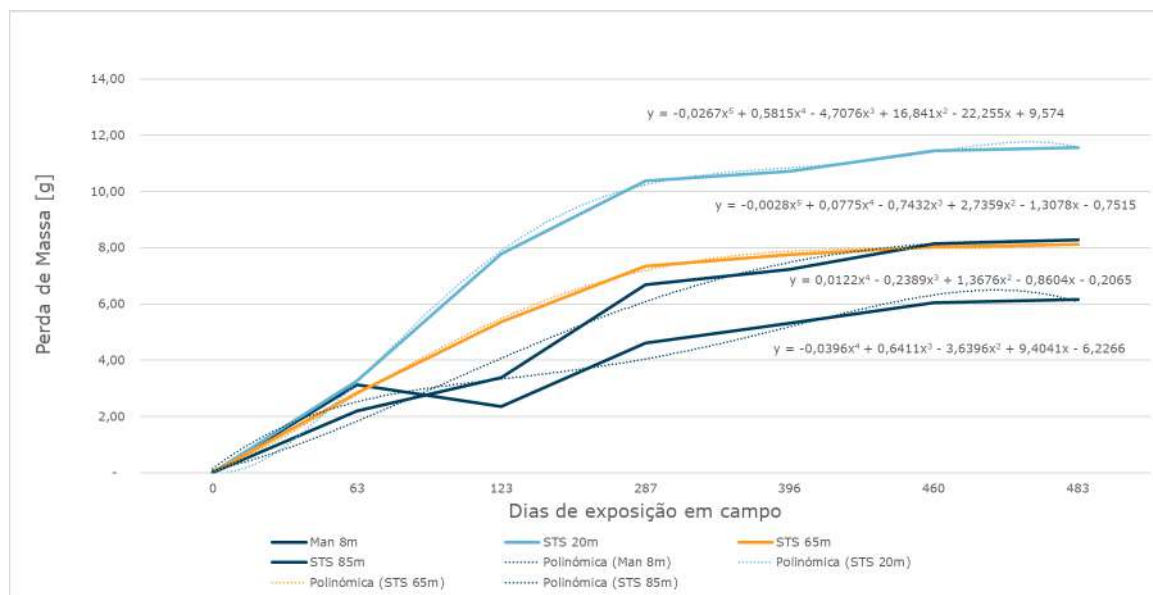
Os valores de perda de massa para a amostra situada no ponto K apresentaram menor valor absoluto, em função do tempo, quando comparadas aos demais pontos. Podemos afirmar que ponto K representa 17% do total de perda de massa do aço, seguida do ponto X 85m com 23% e do ponto X 65 m com 25% chegando finalmente ao ponto X 20 que possui o maior percentual de perda de material atingindo 35% do total.

Foi observado durante o projeto, que visualmente abaixo dos 20 m até o nível zero do piso, é possível perceber um menor efeito da corrosão. Possivelmente este fenômeno é influenciado por uma característica do porto, que vem a ser a presença de pilhas de contêineres estocados, diretamente atrás do Ponto X, o que, de certa forma, gera uma barreira física aos efeitos da projeção da névoa gerada na região do quebra mar diretamente sobre a base do equipamento.

A região do Pecém é comumente conhecida pela forte presença de ventos, o que certamente dispersa a névoa gerada ao nível do mar impedindo que grande parte chegue a altura de 65 m. O mesmo processo se dá a 85 m onde a influência desses aerossóis é ainda menor e verifica-se a menor taxa de corrosão em relação aos 2 outros pontos estudados.

Foram também obtidas as equações polinomiais de ordem 6, do comportamento da perda de massa para análise da Engenharia de Manutenção do Terminal, conforme Figura 34 no sentido de revisar o tempo de realização das manutenções preventivas de pintura do equipamento *Ship to Shore* (STS).

Figura 34 – Gráfico Perda de massa (g) x Dias.



Fonte: O autor (2022)

4.5 Avaliação da perda de massa para o aço COR 400

A Figura 35 retrata o comportamento do aço ao longo do tempo, o qual, ao contrário do aço A36 apresentou na superfície das amostras, uma forte presença de corrosão generalizada (Figura 30) e não uniforme com aspecto de lâminas que se desprendiam da superfície facilmente, mesmo antes do ataque químico, para determinação da perda de massa.

Figura 35 – Gráfico Perda de massa x Dias em campo para o aço COR 400.



Fonte: O autor (2022)

Conforme o tempo de exposição aumentava, a quantidade de produto de corrosão era ainda maior. Após 287 dias de exposição, as amostras de aço COR 400 apresentaram ainda mais lâminas como produto de corrosão, quando comparadas as amostras de 63 dias.

Este fato no levou a comparar os valores absolutos de sua perda de massa com relação ao aço A36, onde atestamos que sua perda de massa foi 19,05% superior aos valores absolutos do aço comparado. Este fato foi inesperado uma vez que seu custo é cerca de 16% superior ao Aço A36 em função da maior quantidade de aditivos e refinamento requerido para sua obtenção.

Para os aços, a quantidade de elementos de liga tem impacto na evolução do fenômeno corrosivo. Este fato é observado claramente nos aços inoxidáveis, os quais possuem a matriz ferrítica semelhante a um aço comum, porém seus percentuais de cromo e alumínio são elevados quando comparados aos mesmos aços.

Desta forma, esperava-se uma menor taxa de corrosão para o aço COR 400, quando comparado ao aço A36, uma vez que este 20,8 vezes mais cromo e aproximadamente 17,5% menos alumínio em sua constituição.

Nota-se, entretanto, na Tabela 13, uma abrupta perda de massa no ponto X 20 m a 123 dias de exposição seguida por reduções mais discretas que podem indicar que apesar do fenômeno corrosivo neste ponto ser mais forte no início da exposição houve algum fenômeno talvez ligada ao fato da formação de uma camada corrosiva que agir como proteção para o material.

Tabela 13 – Percentual de redução de perda de massa com o tempo (aço COR 400).

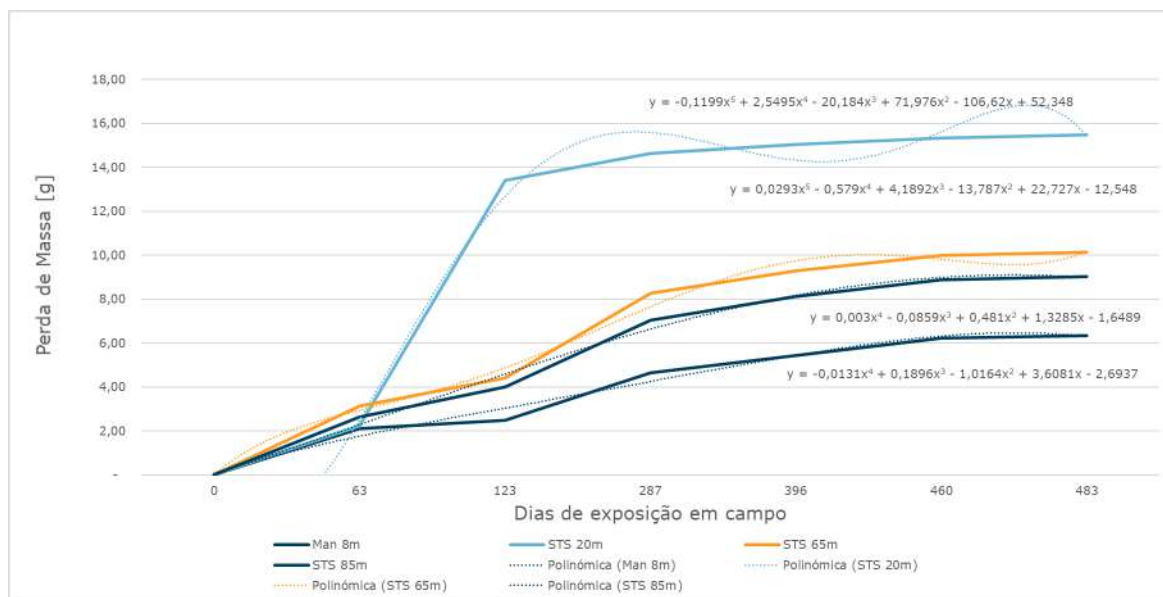
DIAS	PONTO K	PONTO X (20 m)	PONTO X (65 m)	PONTO X (85 m)
63	-	-	-	-
123	18%	50,5%	41%	51%
287	87%	9%	87%	77%
396	17%	3%	13%	15%
460	14%	2%	8%	9%
483	2%	1%	2%	2%

Fonte: O autor (2022).

A redução no percentual de perda de massa das demais amostras quando comparadas a amostra imediatamente anterior, indicam uma redução na velocidade do processo corrosivo uniforme nos diferentes pontos. Contudo ainda não se pode afirmar sem uma análise microscópica, mais profunda, que houve o início do processo de estabilização da corrosão.

Foram também obtidas as equações polinomiais de ordem 6, do comportamento da perda de massa para análise da Engenharia de Manutenção do Terminal, conforme Figura 36 no sentido de revisar o tempo de realização das manutenções preventivas de pintura do equipamento STS assim como realizado no aço A36.

Figura 36 – Gráfico Perda de massa (g) x Dias.



Fonte: O autor (2022)

Na Tabela 14 observa-se a perda média em gramas por ponto e por aço estudado, onde também aparece o comportamento o aço 1010, utilizado para caracterização do ambiente corrosivo conforme a norma ISO 1224:2007 (STANDARDIZATION, 2007). Constatamos que o aço COR 400 apresenta perda de massa superior ao aço A36 no Ponto X em todas as posições, contudo quando no Ponto K ele performa ligeiramente melhor que o aço A36. Este fato pode estar associado a menor presença de cloretos no continente, região do Ponto K.

Tabela 14 – Comparação do percentual de redução de perda de massa com o tempo, dos aços estudados.

PONTO	PERDA MÉDIA (g) A36	%	PERDA MÉDIA (g) COR 400	%	PERDA MÉDIA (g) 1010	%
K	4.60	100%	4.53	100%	5.73	100%
X (20 m)	9.20	199.9%	12.68	279.8%	10.59	184.9%
X (65 m)	6.57	142.9%	7.54	166.3%	10.09	176.2%
X (85 m)	5.99	130.1%	6.63	146.2%	8.27	144.3%

Fonte: O autor (2022).

4.6 Avaliação da corrosão em cupom padrão

Foram também obtidas as taxas de corrosão da amostra padrão para caracterização do ambiente corrosivo conforme a norma ISO 1224:2007 (STANDARDIZATION, 2007).

Com a análise de 6 corpos de prova por ponto, foram obtidos os resultados dispostos na Tabela 15.

Tabela 15 – Taxas de corrosão cupom padrão.

PONTO	PERDA DE MASSA (g)		TAXA DE CORROSÃO ($\mu\text{m}\cdot\text{ano}^{-1}$)		TAXA DE CORROSÃO (mm/ano)	
	MÉDIA	σ	MÉDIA	σ	MÉDIA	σ
K	5,73	0,17	27,47	0,82	0,11	0,0033
X (20 m)	10,59	0,16	50,79	0,79	0,20	0,0032
X (65 m)	10,09	0,21	48,40	1,01	0,19	0,0040
X (85 m)	8,27	0,10	39,65	0,50	0,16	0,0020

Fonte: O autor (2022).

Como primeira referência para este estudo, foi utilizada a norma ISO 9226:2012 (STANDARDIZATION, 2012b), cujos parâmetros de referência são descritos na Tabela 16, considerando que os cupons de teste para determinação da corrosividade ainda não atingiram sua taxa de corrosão estacionária.

Tabela 16 – Classificação da corrosividade da atmosfera.

CORROSIVIDADE DA ATMOSFERA		Vcorr inicial ($\mu\text{m}\cdot\text{ano}^{-1}$)
C1	Muito baixa	< 1,3
C2	Baixa	1,3 - 25
C3	Média	25 - 50
C4	Alta	50 - 80
C5	Muito baixa	80 - 200

Fonte: Standardization (2012b).

Comparando os valores obtidos com a referência é possível identificar que, em média, a corrosão do complexo portuário do Pecém, nos pontos estudados tem uma classificação C3 (Média). Os Pontos K, X (65 m) e X (85 m) possuem uma classificação C3, já o Ponto X (20 m) possui uma classificação C4 (Alta).

Como segunda referência foi utilizada a norma NACE RP 0775:2005 (NACE, 2005), com os valores de referência apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Potencial de corrosividade da atmosfera.

POTENCIAL DE CORROSIVIDADE	TAXA DE CORROSÃO (mm/ano)
Severo	> 0,125
Moderado	0,025 a 0,125
Baixo	< 0,025

Fonte: NACE (2005).

Para essa referência, somente o Ponto K apresenta potencial de corrosividade moderado, enquanto os demais pontos apresentam potencial de corrosividade severo. Como resumo temos de acordo com as normas avaliadas, os valores apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Comparação entre normas.

PONTOS	ISO 9226:2012	NACE RP 0775:2005
K	C3	Moderado
X (20 m)	C4	Severo
X (65 m)	C3	Severo
X (85 m)	C3	Severo

Fonte: O autor (2022).

4.7 Avaliação da corrosão dos aços A36 e COR 400

Para entender melhor o comportamento dos aço, foram elaboradas as Tabelas 19 e 20 com o resumo dos dados obtidos durante o período de 483 dias para os aços A36 e COR 400, respectivamente. Foram dispostas as taxas de corrosão e pode-se verificar o comportamento por ponto e por tempo de exposição. Leia-se os pontos Man 5 m como Ponto K, STS 20 m como X 20 m, STS 65 m como X 65 m e por fim STS 85 m como X 85 m.

Tabela 19 – Taxa de corrosão aço A36.

AÇO A36					
DIAS	MAN 5 m ($\mu\text{m.ano}^{-1}$)	STS 20 m ($\mu\text{m.ano}^{-1}$)	STS 65 m ($\mu\text{m.ano}^{-1}$)	STS 85 m ($\mu\text{m.ano}^{-1}$)	MÉDIA DA TAXA DE CORROSÃO ($\mu\text{m.ano}^{-1}$)
63	115.16	119.99	104.06	80.37	104.90
123	44.30	146.38	100.88	63.79	88.84
287	37.22	83.87	59.38	54.04	58.63
396	31.12	62.78	45.36	42.34	45.40
460	30.44	57.70	40.42	41.06	42.41
483	29.49	55.46	38.96	39.69	40.90
TAXA DE CORROSÃO TOTAL ($\mu\text{m.ano}^{-1}$)	47.96	87.70	64.84	53.55	63.51

O autor (2022).

Tabela 20 – Taxa de corrosão aço COR 400.

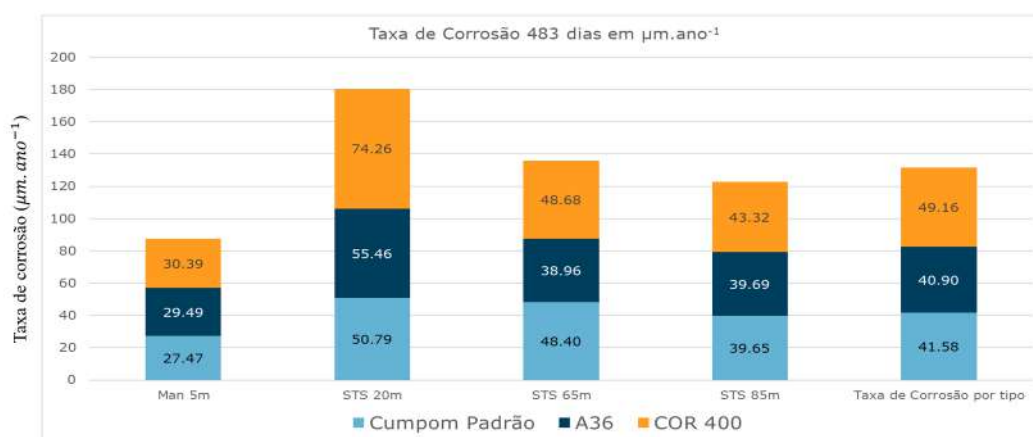
AÇO COR 400					
DIAS	MAN 5 m ($\mu\text{m.ano}^{-1}$)	STS 20 m ($\mu\text{m.ano}^{-1}$)	STS 65 m ($\mu\text{m.ano}^{-1}$)	STS 85 m ($\mu\text{m.ano}^{-1}$)	MÉDIA DA TAXA DE CORROSÃO ($\mu\text{m.ano}^{-1}$)
63	77.27	81.42	114.92	97.30	92.73
123	46.62	252.32	83.23	75.19	114.34
287	37.45	118.11	66.67	56.95	69.79
396	31.76	87.98	54.36	47.59	55.42
460	31.30	77.23	50.34	44.78	50.91
483	30.39	74.26	48.68	43.32	49.16
TAXA DE CORROSÃO TOTAL	42.46	115.22	69.70	60.85	72.06

O autor (2022).

Com base nessas informações não foi possível identificar estabilização da taxa de corrosão no período estudado, o que suporta outros estudos nos quais para determinação da taxa de corrosão uniforme são tomados medições em um período superior a 5 anos de exposição. No aço COR 400 na posição Man 5m a partir do dia 396 de exposição, foi percebido maior tendência para essa estabilização, o que não se repete nas demais amostras.

As taxas de corrosão média das amostras é superior a $50 \mu\text{m.ano}^{-1}$ em 75% dos pontos estudados, sendo que os 25% restantes são referentes a amostras localizadas no continente, ou seja, com a menor exposição a névoa salina e demais contaminantes da região, por se tratar de um ambiente protegido por várias estruturas metálicas e de concreto. Porém quando se observa, na Figura 37, o comportamento das amostras a 483 dias de exposição nota-se que a taxa de corrosão é superior $50 \mu\text{m.ano}^{-1}$ em 25% dos pontos estudados, ou seja, exatamente o contrário do exposto no parágrafo acima, o que reforça a necessidade de estudos de longo prazo para determinação de uma taxa de corrosão mais uniforme e coerente a realidade do comportamento corrosivo do metal.

Figura 37 – Gráfico com taxa de corrosão das amostras após 483 dias de exposição.



Fonte: O autor (2022)

Nesse cenário permanecem as severas taxas de corrosão para as amostras ensaiadas na posição STS 20 m para os dois aços estudados, sobressaindo de forma negativa o aço COR 400 que apresenta taxa de corrosão 33,89% superior ao aço A36.

Esses dados também foram tomados pela engenharia do terminal, uma vez que o senso comum tinha, até o momento, como superior em propriedades mecânicas o aço COR 400, recomendando-se a construção de certas estruturas de apoio a manutenção nestes aços, o que após este trabalho passará por revisão técnica. Uma vez observado a maior resistência à corrosão do A36, estima-se redução de custo de aproximadamente 8,43% na construção de estruturas metálicas aplicadas a essas regiões.

5 Conclusão

- Foram determinadas as taxas de corrosão, no campo, em função do tempo de exposição;
- Foram determinadas a vida útil dos aços expostos ao intemperismo com base em equações aplicáveis para região;
- Foi identificado qual dos aços estudados apresenta melhor desempenho frente a influência do intemperismo da região;
- Foram construídas as curvas de comportamento dos aços em função da altura da amostra e de sua distância em relação ao continente;
- Foi observado um baixo desempenho corrosivo do aço COR 400, em relação ao aço A 36, com uma perda de massa, em valores absolutos, na ordem de 19,05%;
- O aço A 36 apresentou um melhor desempenho corrosivo, quando comparado ao aço COR 400, mesmo este último, contando com uma concentração 20% superior do elemento de liga cromo;
- O aço COR 400 possui desempenho inferior ao A36 em todos os pontos e alturas estudadas;
- A maior taxa de corrosão foi obtida no Ponto X (STS) 20 m;
- A classificação quanto ao nível de corrosão do Ponto X é C4 e os demais pontos é C3;
- O potencial de corrosividade do Ponto K é tido como moderado enquanto os demais estão classificados como severo;
- Não é possível concluir que houve estabilização da taxa de corrosão;
- Com base nas informações deste projeto é possível suportar a definição da estratégia de manutenção preventiva referente a pintura nos equipamentos localizados nas regiões estudadas;
- Estima-se uma redução de custo de manutenção na ordem de 3 a 5% com a aplicação de diferentes estratégias de pintura nestas regiões;
- Deve-se agregar aos critérios de decisão de escolha de aços estruturais em estruturas da região o desempenho corrosivo do aço COR 400 em relação ao A 36 uma vez que este último obteve um melhor desempenho e ainda possui custo 16% inferior ao COR 400.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Análise do comportamento corrosivo dos aços estruturais ASTM A709 e ASTM A36 recobertos com Inibidores de Corrosão Renováveis;
- Retomada do estudo para os pontos cujas amostras foram perdidas;
- Emprego de ferramentas de processamento digital para definição do grau de corrosão em função do aspecto visual da superfície das amostras;
- Realização de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e o Espectro de Energia Dispersiva (EDS) para estudo mais profundo da morfologia, constituição e distribuição das fases presentes e a identificação de elementos químicos das amostras.

Referências

- ABNT, A. B. de N. T. Classificação da corrosividade de atmosferas. **NBR 6211**, 2001.
- ABNT, A. B. de N. T. Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida. **NBR 6211**, 2001.
- ADACHI, K.; BUSECK, P. R. Changes in shape and composition of sea-salt particles upon aging in an urban atmosphere. **Atmospheric Environment**, Elsevier, v. 100, p. 1–9, 2015.
- ALCÁNTARA, J. et al. Airborne chloride deposit and its effect on marine atmospheric corrosion of mild steel. **Corrosion Science**, Elsevier, v. 97, p. 74–88, 2015.
- ALCANTARA, J. et al. Marine atmospheric corrosion of carbon steel: A review. *materials*, 10, 406. 2017.
- AMBLER, H.; BAIN, A. Corrosion of metals in the tropics. **Journal of Applied Chemistry**, Wiley Online Library, v. 5, n. 9, p. 437–467, 1955.
- ARABAN, V.; KAHRAM, M.; REZAKHANI, D. Evaluation of copper atmospheric corrosion in different environments of iran. **Corrosion Engineering, Science and Technology**, Taylor & Francis, v. 51, n. 7, p. 498–506, 2016.
- ARAÚJO, A. A. de. **Gerenciamento de falhas por corrosão em dutos**. Tese (Dissertação) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO), 2012.
- ASTM. Standard practice for laboratory immersion corrosion testing of metals. **ASTM G31-72**, 2004.
- ASTM. Standard test method for determining atmospheric chloride deposition rate by wet candle method. **ASTM G140-02**, 2019.
- BARTON, K. **Protection Against Atmospheric Corrosion, English Translation**, ed. by JR Ducan. [S.l.]: John Wiley & Sons, London, 1976.
- BHASKARAN, R. et al. A review of differing approaches used to estimate the cost of corrosion (and their relevance in the development of modern corrosion prevention and control strategies). **Anti-Corrosion Methods and Materials**, Emerald Group Publishing Limited, 2005.
- BURSTEIN, G.; SHREIR, L.; JARMAN, R. **Corrosion 2 Volume Set**. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 1994.
- CARDOSO, J. et al. Source apportionment of atmospheric aerosol in a marine dusty environment by ionic/composition mass balance (imb). **Atmospheric Chemistry and Physics**, Copernicus GmbH, v. 18, n. 17, p. 13215–13230, 2018.
- CARMELO, H. d. N. et al. Previsão de velocidade do vento no nordeste brasileiro através do modelo arimax. *Revista Ciência e Tecnologia*, 2017.

- COLE, I. S. et al. A study of the wetting of metal surfaces in order to understand the processes controlling atmospheric corrosion. **Journal of the Electrochemical Society**, IOP Publishing, v. 151, n. 12, p. B627, 2004.
- COLE, I. S.; LAU, D.; PATERSON, D. A. Holistic model for atmospheric corrosion part 6—from wet aerosol to salt deposit. **Corrosion engineering, science and technology**, Taylor & Francis, v. 39, n. 3, p. 209–218, 2004.
- COLPAERT, H.; COSTA, A. L. V. da et al. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. [S.l.]: Editora Blucher, 2008.
- DÍAZ, I. et al. Atmospheric corrosion of astm a-242 and astm a-588 weathering steels in different types of atmosphere. **Corrosion Engineering, Science and Technology**, Taylor & Francis, v. 53, n. 6, p. 449–459, 2018.
- DÍAZ, I. et al. Five-year atmospheric corrosion of cu, cr and ni weathering steels in a wide range of environments. **Corrosion Science**, Elsevier, v. 141, p. 146–157, 2018.
- FERNANDES, F.; MARIANO, R.; GNECCO, C. Tratamento de superfície e pintura. **Instituto Brasileiro De Siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço: Rio de Janeiro**, 2003.
- FIEP, S. **Efeitos da corrosão afetam o PIB de um país, mas podem ser controlados**. Agência Sistema FIEP, 2019. Disponível em: <<https://agenciafiep.com.br/2019/03/18/efeitos-da-corrosao-afetam-o-pib-de-um-pais/>>. Acesso em: 18 mar. 2019.
- FUENTE, D. De la et al. Long-term atmospheric corrosion of mild steel. **Corrosion Science**, Elsevier, v. 53, n. 2, p. 604–617, 2011.
- GENTIL, V. **Livros técnicos e científicos**. [S.l.: s.n.], 2011.
- GUSTAFSSON, M. E.; FRANZÉN, L. G. Dry deposition and concentration of marine aerosols in a coastal area, sw sweden. **Atmospheric Environment**, Elsevier, v. 30, n. 6, p. 977–989, 1996.
- HÅKANSSON, E. et al. The role of corrosion product deposition in galvanic corrosion of aluminum/carbon systems. **Corrosion Science**, Elsevier, v. 114, p. 10–16, 2017.
- HOU, B. et al. The cost of corrosion in china. **npj Materials Degradation**, Nature Publishing Group, v. 1, n. 1, p. 1–10, 2017.
- KOCH, G. H. **Historic Congressional Study: Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States**. [S.l.], 2002.
- KONNO, Y. et al. Corrosion protection of iron using porous anodic oxide/conducting polymer composite coatings. **Faraday discussions**, Royal Society of Chemistry, v. 180, p. 479–493, 2015.
- LI, S.; HIHARA, L. Aerosol salt particle deposition on metals exposed to marine environments: a study related to marine atmospheric corrosion. **Journal of The Electrochemical Society**, IOP Publishing, v. 161, n. 5, p. C268, 2014.
- LIU, Y. et al. Study on corrosion behavior of zinc exposed in coastal-industrial atmospheric environment. **Materials Chemistry and Physics**, Elsevier, v. 198, p. 243–249, 2017.

- LUNA, A. M. de et al. Mapeamento da corrosividade atmosférica do estado do ceará. 2008.
- MEIRA, G. R. et al. Vertical distribution of marine aerosol salinity in a brazilian coastal area—the influence of wind speed and the impact on chloride accumulation into concrete. **Construction and Building Materials**, Elsevier, v. 135, p. 287–296, 2017.
- MELCHERS, R. E. Bi-modal trends in the long-term corrosion of copper and high copper alloys. **Corrosion Science**, Elsevier, v. 95, p. 51–61, 2015.
- MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C.; MAINIER, F. B. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. **Química nova na escola**, v. 19, p. 11–14, 2004.
- MORCILLO, M. et al. Atmospheric corrosion data of weathering steels. a review. **Corrosion Science**, Elsevier, v. 77, p. 6–24, 2013.
- MORCILLO, M. et al. Weathering steels: From empirical development to scientific design. a review. **Corrosion Science**, Elsevier, v. 83, p. 6–31, 2014.
- NACE. Standard recommended practice – preparation, installation, analysis, and interpretation of corrosion coupons in oilfield operations. **NACE STANDARD RP 0775:2005**, 2005.
- NISHIMURA, T. et al. Electrochemical behavior of rust formed on carbon steel in a wet/dry environment containing chloride ions. **Corrosion**, v. 56, n. 9, p. 935–941, 2000.
- OSTROSKI, V. C. Avaliação da velocidade de corrosão nos equipamentos portuários. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 848–880, 2019.
- PALRAJ, S. et al. Kinetics of atmospheric corrosion of mild steel in marine and rural environments. **Journal of Marine Science and Application**, Springer, v. 14, n. 1, p. 105–112, 2015.
- PAN, C. et al. Evolution of initial atmospheric corrosion of carbon steel in an industrial atmosphere. **Journal of Materials Engineering and Performance**, Springer, v. 25, n. 12, p. 5382–5390, 2016.
- PAN, C. et al. Atmospheric corrosion of copper exposed in a simulated coastal-industrial atmosphere. **Journal of materials science & technology**, Elsevier, v. 33, n. 6, p. 587–595, 2017.
- PANCHENKO, Y. M.; MARSHAKOV, A. Long-term prediction of metal corrosion losses in atmosphere using a power-linear function. **Corrosion Science**, Elsevier, v. 109, p. 217–229, 2016.
- PANNONI, F. et al. Investigação da corrosão de um aço carbono e de um aço patinável submetidos à diferentes condições ambientais. In: **Anais do 48o Congresso Anual da ABM**. [S.l.: s.n.], 1993. p. 135–154.
- PANNONI, F. D. Condições para formação da pátina protetora em aços patináveis. **São Paulo: Gerdau Açominas**, v. 3, 2005.
- PINTO, D. As sofisticadas armas de combate à corrosão. **Associação Brasileira de Corrosão**, 2016.


- PONHSAMPATEA, L.; CHEEWAKET, T.; CHALEE, W. Chloride penetration and steel corrosion of concrete containing palm oil fuel ash under 5 years exposure in marine environment. **Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok**, v. 28, n. 1, p. 23–36, 2018.
- PORTELLA, M. et al. Atmospheric corrosion rates of copper, galvanized steel, carbon steel and aluminum in the metropolitan region of salvador, ba, northeast brazil. **Procedia Engineering**, Elsevier, v. 42, p. 171–185, 2012.
- RALSTON, K.; BIRBILIS, N.; DAVIES, C. Revealing the relationship between grain size and corrosion rate of metals. **Scripta Materialia**, Elsevier, v. 63, n. 12, p. 1201–1204, 2010.
- SAJID, H. U.; KIRAN, R. Influence of high stress triaxiality on mechanical strength of astm a36, astm a572 and astm a992 steels. **Construction and Building Materials**, Elsevier, v. 176, p. 129–134, 2018.
- SANTOS, C. D. et al. Estimativa da irradiação solar global horária a partir da temperatura do ar para o semiárido de alagoas, brasil. **Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 32, 2016.
- SILVA, R. C. da; GHENO, S. M. Caracterização mecânica e estrutural do aço astm a131 classe dh36 em comparação com aço astm a36 utilizado para projetos estruturais. **SITEFA-Simpósio de Tecnologia da Fatec Sertãozinho**, v. 1, n. 1, p. 153–168, 2018.
- SLAMOVA, K. et al. Mapping atmospheric corrosion in coastal regions: methods and results. **Journal of Photonics for Energy**, International Society for Optics and Photonics, v. 2, n. 1, p. 022003, 2012.
- SØRENSEN, P. A. et al. Anticorrosive coatings: a review. **Journal of coatings technology and research**, Springer, v. 6, n. 2, p. 135–176, 2009.
- STANDARDIZATION, I. O. for. Rolling bearings. instrument precision bearings. boundary dimensions, tolerances and characteristics of metric series bearings. **ISO 1224:2007**, 2007.
- STANDARDIZATION, I. O. for. Classification of the corrosivity of atmospheres - classification, determination and estimation. **ISO 9223:2012**, 2012.
- STANDARDIZATION, I. O. for. Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity. **ISO 9226:2012**, 2012.
- STANDARDIZATION, I. O. for. Corrosion of metals and alloys: Basic terms and definitions. **ISO 8044:2015**, 2015.
- STANDARDIZATION, I. O. for. Paints and varnishes – corrosion protection of steel structures by protective paint systems part 2: Classification of environments. **ISO 12944-2:2017**, 2017.
- TALBOT DAVID EJ, J. D. **Corrosion science and technology**. [S.l.]: CRC press, 2018.
- TOLMASQUIM, M. T. et al. Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. **Rio de Janeiro: EPE**, v. 1, n. 1, p. 10, 2016.


TOMASHOV, N. D. Theory of corrosion and protection of metals. **1966, 672 P. The Macmillan Company, 60 fifth aavenue, New York 10011**, 1965.

TUO, Y. et al. Corrosion protection application of slippery liquid-infused porous surface based on aluminum foil. **Applied Surface Science**, Elsevier, v. 423, p. 365–374, 2017.

WOLYNEC, S. **Técnicas eletroquímicas em corrosão Vol. 49**. [S.l.]: Edusp, 2003.

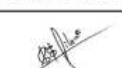
ANEXO A – Certificado CSN

<div><div>Companhia Siderúrgica Nacional</div><div>Rua São José nº 20 - Grupo 1602/Barro CEP: 20.010-020 - Centro - Rio de Janeiro-RJ</div></div>		Número 365277		Código Cliente 16830		Contrato		Ordem Vendas 1910802/000001		Data 16.10.2008		Folha 1 / 1	
Lista de Embarque e Certificado de Conformidade				Nota Fiscal nº 365277 Made in Brazil CHAPA AÇO FINA LAMINADA QUENTE EM HORINA 4505757546/02									
Especificação Qualidade Cond Borda Acabamento Aplam. Restritivo Oclucamento Embalagem				Data norma Superfície 2 Universal Com LA Sem AR ENBLAGEM B-2 (ML + ME)									
Caixa Portal:				Análise Química (%)									
				Placa C Mn P S Si Cu Ni Cr Mo Sn Al N Nb V Ti B Ca									
C 24				E13200 0,1430 0,7040 0,0150 0,0120 0,9160 0,0140 0,0110 0,0180 0,0030 0,0030 0,0400 0,004200 0,0020 0,0010 0,0020 0,0001 0,0001									
0,2664													
				-Propriedades Mecânicas / Magnéticas / Metalográficas-									
Lote Corrida				LE_TR LR_TR LO/LR_TR AL_TR 50 mm DOBR_180									
D685220301 8B5687				378 MPa 511 MPa 0,74 36,2 % OK									
D685220601 8B5687				389 MPa 517 MPa 0,75 34,4 % OK									
				Produto Embarcado									
Lote Corrida				Placa Superfície Largura Comp. Técnico Peso Líq. Peso Br.									
D685220601 8B5687				E13200 2,000 MM 1200,0 MM 617,0 M 11,620 TO 11,626 TO									
TOTAL: Lotes: 0001				Peso Líquido (MT): 11,620 Peso Bruto (MT): 11,626									
CERTIFICAMOS QUE O MATERIAL AQUI RELACIONADO FOI PRODUZIDO, INSPECIONADO, ENSAIADO E ANALISADO EM Nossos LABORATÓRIOS DE ACORDO COM OS REQUISITOS DA NORMA OU ESPECIFICAÇÃO PEDIDA													
ELEMENTOS QUÍMICOS EXIGIDOS PELA ESPECIFICAÇÃO ENCOMENDADA : C, S, P, MN, SI, CU,													
NI, CR, AL													
Preparado: Luciano Henrique do Carmo Visão: Otávio Augusto de Souza													
Técnico de Desenvolvimento Ger. Geral de Processos Siderúrgicos													

 ArcoBordall						Certificado de Qualidade / Mill Sheet / Quality Certificate Pág.: 1 de 01 Data de emissão / Issue Date: 13.08.2018											
ARCELORMITTAL BRASIL S.A. Usinas / Plant: ArcoMittal Tubarão Av. Brigadeiro Eduardo Gomes, 326, Polo Industrial Tubarão, Serra-ES, CEP 29160-904 CNPJ.: 17.469.701/0104-92 Telefone +55(27)3348-1740/ 3348-2220 Fax:+55(27)3348-1482/ 3348-2271						Ordem da Venda / Order No: 7628328 / 000001 Consumidor / Customer: ARCELORMITTAL BRASIL S.A.						Nº do pedido do cliente / Buyer ref. No. 10810 Nº do certificado / Certificate 000765862401					
Aplicação / Application: DISTRIBUIÇÃO E CENTROS DE SERVIÇOS - USO GERAL SERVICE AND DISTRIBUTION CENTERS - GENERAL						Produto / Product: BFQ 2 x 1200 COR SERIE 400 QC / Bordo / Edge: Natural						Norma do Produto / Product Standard: CST COR 400 Part Number: CONFORME NORMA					
Comprimento / Length: 2,00						Largura / Width: (MM) 1.200						Nº Protocolo / No Protocolo: NORMAL					
Composição Química / Chemical Composition (%) - L = Análise de Produto / Product Analysis																	
Carbono	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	N	Sn	Tl	B	Ca
2581748	L	0,08	0,246	0,070	0,033	0,0076	0,033	0,011	0,007	0,393	0,001	0,0006	0,0043	0,001	0,002	0,0008	0,0003

[illegible]

Número de la(s) / lot ID G307098	Nº da nota fiscal / Invoice 003295541	Peso lq. / Net weight 21.990	Comprimento Real / Real Length (m) 1.11200	Amostra 1 / Sample 1 T047-054T	Amostra 2 / Sample 2	Amostra 3 / Sample 3	Obs. (1) POSIÇÃO / POSITION 1 - 1st / 1st 2 - 2nd / 2nd 3 - 3rd / 3rd 4 - 4th / 4th 5 - 5th / 5th 6 - 6th / 6th 7 - 7th / 7th 8 - 8th / 8th 9 - 9th / 9th 10 - 10th / 10th 11 - 11th / 11th 12 - 12th / 12th 13 - 13th / 13th 14 - 14th / 14th 15 - 15th / 15th 16 - 16th / 16th 17 - 17th / 17th 18 - 18th / 18th 19 - 19th / 19th 20 - 20th / 20th 21 - 21st / 21st 22 - 22nd / 22nd 23 - 23rd / 23rd 24 - 24th / 24th 25 - 25th / 25th 26 - 26th / 26th 27 - 27th / 27th 28 - 28th / 28th 29 - 29th / 29th 30 - 30th / 30th 31 - 31st / 31st 32 - 32nd / 32nd 33 - 33rd / 33rd 34 - 34th / 34th 35 - 35th / 35th 36 - 36th / 36th 37 - 37th / 37th 38 - 38th / 38th 39 - 39th / 39th 40 - 40th / 40th 41 - 41st / 41st 42 - 42nd / 42nd 43 - 43rd / 43rd 44 - 44th / 44th 45 - 45th / 45th 46 - 46th / 46th 47 - 47th / 47th 48 - 48th / 48th 49 - 49th / 49th 50 - 50th / 50th 51 - 51st / 51st 52 - 52nd / 52nd 53 - 53rd / 53rd 54 - 54th / 54th 55 - 55th / 55th 56 - 56th / 56th 57 - 57th / 57th 58 - 58th / 58th 59 - 59th / 59th 60 - 60th / 60th 61 - 61st / 61st 62 - 62nd / 62nd 63 - 63rd / 63rd 64 - 64th / 64th 65 - 65th / 65th 66 - 66th / 66th 67 - 67th / 67th 68 - 68th / 68th 69 - 69th / 69th 70 - 70th / 70th 71 - 71st / 71st 72 - 72nd / 72nd 73 - 73rd / 73rd 74 - 74th / 74th 75 - 75th / 75th 76 - 76th / 76th 77 - 77th / 77th 78 - 78th / 78th 79 - 79th / 79th 80 - 80th / 80th 81 - 81st / 81st 82 - 82nd / 82nd 83 - 83rd / 83rd 84 - 84th / 84th 85 - 85th / 85th 86 - 86th / 86th 87 - 87th / 87th 88 - 88th / 88th 89 - 89th / 89th 90 - 90th / 90th 91 - 91st / 91st 92 - 92nd / 92nd 93 - 93rd / 93rd 94 - 94th / 94th 95 - 95th / 95th 96 - 96th / 96th 97 - 97th / 97th 98 - 98th / 98th 99 - 99th / 99th 100 - 100th / 100th 101 - 101st / 101st 102 - 102nd / 102nd 103 - 103rd / 103rd 104 - 104th / 104th 105 - 105th / 105th 106 - 106th / 106th 107 - 107th / 107th 108 - 108th / 108th 109 - 109th / 109th 110 - 110th / 110th 111 - 111th / 111th 112 - 112th / 112th 113 - 113th / 113th 114 - 114th / 114th 115 - 115th / 115th 116 - 116th / 116th 117 - 117th / 117th 118 - 118th / 118th 119 - 119th / 119th 120 - 120th / 120th 121 - 121st / 121st 122 - 122nd / 122nd 123 - 123rd / 123rd 124 - 124th / 124th 125 - 125th / 125th 126 - 126th / 126th 127 - 127th / 127th 128 - 128th / 128th 129 - 129th / 129th 130 - 130th / 130th 131 - 131st / 131st 132 - 132nd / 132nd 133 - 133rd / 133rd 134 - 134th / 134th 135 - 135th / 135th 136 - 136th / 136th 137 - 137th / 137th 138 - 138th / 138th 139 - 139th / 139th 140 - 140th / 140th 141 - 141st / 141st 142 - 142nd / 142nd 143 - 143rd / 143rd 144 - 144th / 144th 145 - 145th / 145th 146 - 146th / 146th 147 - 147th / 147th 148 - 148th / 148th 149 - 149th / 149th 150 - 150th / 150th 151 - 151st / 151st 152 - 152nd / 152nd 153 - 153rd / 153rd 154 - 154th / 154th 155 - 155th / 155th 156 - 156th / 156th 157 - 157th / 157th 158 - 158th / 158th 159 - 159th / 159th 160 - 160th / 160th 161 - 161st / 161st 162 - 162nd / 162nd 163 - 163rd / 163rd 164 - 164th / 164th 165 - 165th / 165th 166 - 166th / 166th 167 - 167th / 167th 168 - 168th / 168th 169 - 169th / 169th 170 - 170th / 170th 171 - 171st / 171st 172 - 172nd / 172nd 173 - 173rd / 173rd 174 - 174th / 174th 175 - 175th / 175th 176 - 176th / 176th 177 - 177th / 177th 178 - 178th / 178th 179 - 179th / 179th 180 - 180th / 180th 181 - 181st / 181st 182 - 182nd / 182nd 183 - 183rd / 183rd 184 - 184th / 184th 185 - 185th / 185th 186 - 186th / 186th 187 - 187th / 187th 188 - 188th / 188th 189 - 189th / 189th 190 - 190th / 190th 191 - 191st / 191st 192 - 192nd / 192nd 193 - 193rd / 193rd 194 - 194th / 194th 195 - 195th / 195th 196 - 196th / 196th 197 - 197th / 197th 198 - 198th / 198th 199 - 199th / 199th 200 - 200th / 200th 201 - 201st / 201st 202 - 202nd / 202nd 203 - 203rd / 203rd 204 - 204th / 204th 205 - 205th / 205th 206 - 206th / 206th 207 - 207th / 207th 208 - 208th / 208th 209 - 20
--	---	------------------------------------	---	--------------------------------------	-------------------------	-------------------------	--

USINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS S.A. USIMINAS		CERTIFICADO DE INSPEÇÃO INSPECTION CERTIFICATE		Cliente-Customer: ACO CEARENSE INDUSTRIAL LTDA		Nota Fiscal Commercial Invoice		Data de Emissão Date of Issue							
SEDE: BELO HORIZONTE - MG - BRASIL R. MIN. JOSÉ MARIA DE SIQUEIRA, 3911 BARRIO ENGENHO NOVOBARRA - CP 808 - CEP: 31319-260 CNPJ: 06.964.788/00-46 INSC. ESTADUAL: 928321989115		BOBINA DE AÇO LAMINADA A QUENTE HOT ROLLED STEEL COIL		Tolerâncias - Tolerances Espessura-Thickness Largura-Width		-0,15/+0,15 mm -0,00/+22,00mm		V 75007 1 28/08/2019							
A Usiminas certifica que os produtos descritos foram fabricados no Brasil pelo processo de registro nacional (L1), atendendo a especificações técnicas aplicáveis. A Usiminas disponibiliza atestados de ensaio mecânico.		Usiminas certifies that the products here described have been produced in Brazil by using the basic oxygen process (L1), tested and analyzed according to the applicable technical specifications, parameters remain available. By using the following website:		Folha - Sheet n°		00455324		03							
Qualidade - Steel SAE-AISI 4033-14-1008		Dimensões Nominais - Nominal Dimensions 2.00 x 1000 mm		Borda - Edge / Orlamento - Orling Natural Sem Cmo M/E Edge No Cmt		Aparência Superficial - Surface Appearance ABNT SUP 2									
Placa Volume Slab: Package 241 37214772		Pecas por Volume Pieces per Packages 1		Massa Líquida Net Mass 9,280		Massa Bruta Gross Mass 9,284		Corrida Heat 109960							
Massa Bruta Real Total-Total Actual Gross Mass = 9,284 t - Massa Líquida Real Total-Total Actual Net Mass = 9,280 t - Volumes-Packages = 1 - Pecas - Pieces = 1															
Composição Química (%) - Chemical Composition (%)															
Corrida Análise Heat Analysis 109960 P		C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	V	Ti	Cr	Ni	Mo	N
		0,08	0,01	0,37	0,012	0,003	0,041	0,01	0,001	0,001	0,001	0,01	0,01	0,00	0,0039
Abreviações - Abbreviations P = Fabela-Ladine										Abreviações - Abbreviations Al = Alumínio Total-Total Aluminum					
Certificamos que este material foi inspecionado e possui nível de radiação abaixo de 1 kBq/kg. We certify that this material has been inspected and the radiation level is less than 1 kBq/kg.										Certificamos de tipo 3.1 de norma EN-10204. Certificate of type 3.1 of the EN-10204.					
Observações - Remarks AÇOS CEARENSE JUNHO/19 FDS - Ficha de Dados de Segurança do Produto, disponível na Extranet da Usiminas MSDS - Material Safety Data Sheet available at Usiminas Extranet										 Carlos Eduardo de Silva Gerente da Qualidade Usiminas					
Sistema de Gestão Certificado pelas normas: Management System certified according to the standards: ISO 9001 ISO 14001 IATF 16949 OHSAS 18001										Produto Conforme RoHS&ELV Compliant Product Produto 100% Reciclável 100% Recyclable Product					