



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ANA CLAUDIA DANTAS GARCIA

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DA DIMINUIÇÃO DA CORROSÃO NO AÇO CARBONO
UTILIZANDO INIBIDOR EM DIFERENTES MEIOS**

PAU DOS FERROS/RN

2022

ANA CLAUDIA DANTAS GARCIA

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DA DIMINUIÇÃO DA CORROSÃO NO AÇO CARBONO
UTILIZANDO INIBIDOR EM DIFERENTES MEIOS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Josy Eliziane Torres Ramos, Prof. Dr.

PAU DOS FERROS

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G216e Garcia, Ana Claudia Dantas.

O ESTUDO DA DIMINUIÇÃO DA CORROSÃO NO AÇO CARBONO UTILIZANDO INIBIDORES DE PROTEÇÃO EM DIFERENTES MEIOS/ Ana Claudia Dantas Garcia. - 2022.

39 f. : il.

Orientadora: Josy Eliziane Torres Ramos.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2022.

1. Corrosão. 2. Inibidor. 3. Meios Corrosivos. I. Ramos, Josy Eliziane Torres, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANA CLAUDIA DANTAS GARCIA

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DA DIMINUIÇÃO DA CORROSÃO NO AÇO CARBONO
UTILIZANDO INIBIDOR EM DIFERENTES MEIOS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 07/06/2022

BANCA EXAMINADORA

**JOSY ELIZIANE
TORRES**

RAMOS:65863917334

Assinado de forma digital
por JOSY ELIZIANE TORRES
RAMOS:65863917334

Dados: 2022.06.08 09:40:50
-03'00'

Josy Eliziane Torres Ramos, Prof^a. Dra. (UFERSA)
Presidente



Documento assinado digitalmente

ADLA KELLEN DIONISIO SOUSA DE OLIVEIRA

Data: 10/06/2022 10:35:59-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Adla Kellen Dionisio Sousa, Prof^a. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

**ALINE MARA MAIA
BESSA:03230102371**

Assinado de forma digital por
ALINE MARA MAIA
BESSA:03230102371

Dados: 2022.06.09 09:49:53 -03'00'

Aline Mara Maia Bessa, Prof^a. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus pais e irmão, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

À professora Josy, por ter sido minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação, amizade e total disponibilidade para tirar todas as minhas dúvidas.

RESUMO

A corrosão é um dano que ocasiona a destruição total, parcial ou superficial do material e que, muitas vezes, se dá naturalmente. No presente estudo foi avaliado o uso de um inibidor sintético para minimização dos efeitos corrosivos no aço carbono. Este trabalho fez análise de uma atividade experimental, utilizou-se um prego de aço carbono em sua forma natural e revestido de um fundo para galvanizado da marca Tintas Starlux LTDA, com o intuito de inibir e de demonstrar como ele se comporta aderido ao material e se previne ou não os aspectos corrosivos. Para tal, foi feito um experimento através da imersão do aço carbono em solução salina a 1mol/L, solução ácida a 0,1%, água da chuva e no ar, com e sem o inibidor anticorrosivo. Nesse estudo foram observados o seu comportamento em um período de 60 dias, a fim de registrar todo o processo e analisar a vantagem do inibidor em cada um deles, e, no fim, mostrar a sua eficácia no quesito proteção. O meio que se mostrou severamente corrosivo foi o ácido clorídrico e, apesar de conter o inibidor, se mostrou ainda um ácido forte e capaz de deteriorar a sua camada de proteção, sendo necessário reaplicar o produto periodicamente para diminuir os estragos causado no meio utilizado.

Palavras-chave: Inibidor; Corrosão; Meios Corrosivos.

ABSTRACT

Corrosion is damage that causes the total, partial or superficial destruction of the material and that often occurs naturally. In the present study, the use of a synthetic inhibitor to minimize the corrosive effects on carbon steel was evaluated. This work analyzed an experimental activity where a carbon steel nail was used in its natural form and coated with a base for galvanized paint from the Tintas Starlux LTDA brand, in order to inhibit and demonstrate how it behaves adhered to the material and whether or not the corrosive aspects are prevented. To this end, an experiment was carried out by immersion of carbon steel in saline solution at 1mol/L, acid solution at 0.1%, rainwater and in the air, with and without the anticorrosive inhibitor. In this study, its behavior was observed over a period of 60 days, in order to record the entire process and analyze the advantage of the inhibitor in each of them, and, in the end, to show its effectiveness in terms of protection. The medium that proved to be severely corrosive was hydrochloric acid and, despite containing the inhibitor, it was still a strong acid and capable of deteriorating its protective layer, being necessary to reapply the product periodically to reduce the damage caused to the medium used.

Keywords: Inhibitor; Corrosion; Corrosive Media.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Tipos de corrosão.	16
Figura 2: Esquema de uma pilha eletroquímica.	17
Figura 3: Cuba de eletrorefino do cobre.....	19
Figura 4: Diagrama de Pourbaix para o ferro: equilíbrio potencial – pH para o sistema Fe-H ₂ O a 25°C.	22
Figura 5: Diagrama simplificado de potencial e pH para o sistema Fe-H ₂ O.....	22
Figura 6: Análise das massas com suas pesagens inicial e final em contato com a água salina	27
Figura 7: Análise da pesagem inicial e final em contato com a água da chuva	27
Figura 8: Análise da pesagem inicial e final em contato com o ar.	28
Figura 9: Análise da pesagem inicial e final em contato com o ácido clorídrico.....	28
Figura 10: Corrosão por meio ácido	29
Figura 11: Corrosão por água salgada.	30
Figura 12: Corrosão pela água da chuva.	31
Figura 13: Corrosão pelo oxigênio	32
Figura 14: Análise da pesagem inicial e final do material com inibidor em contato com a água salina.....	33
Figura 15: Análise da pesagem inicial e final do material com inibidor em contato com a água da chuva.....	34
Figura 16: Análise da pesagem inicial e final do material com inibidor em contato com o ar.....	34
Figura 17: Análise da pesagem inicial e final do material com inibidor em contato com a solução ácida.....	35
Figura 18: Comparativo das Taxas de Penetração da Corrosão em cada meio sem o inibidor.	36
Figura 19: Comparativo das Taxas de Penetração da Corrosão em cada meio com o inibidor.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação da Taxa de Corrosão.....	20
Tabela 2: Amostras e condições avaliadas no presente estudo.	24
Tabela 3: Pesagem inicial e final das amostras e a sua perda de massa sem o inibidor.....	26
Tabela 4: Pesagem inicial e final das amostras e a sua perda de massa com o inibidor.....	32
Tabela 5: Taxa de Penetração da Corrosão em cada meio sem o inibidor	35
Tabela 6: Taxa de Penetração da Corrosão em cada meio com o inibidor.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Cu	Cobre
Fe	Ferro
H₂O	Água
HCl	Ácido Clorídrico
LTDA	Limitada
MEV	Microscópio de Varredura Eletrônica
Mg	Magnésio
NaCl	Cloreto de Sódio
Ni	Níquel
O	Oxigênio
pH	Potencial Hidrogênionico
SARS-Cov-2	Coronavírus 2 da Síndrome Respiratória Aguda Grave
TPC	Taxa de Penetração da Corrosão
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO	13
3 PROBLEMATIZAÇÃO	14
2 REVISÃO TEÓRICA	14
2.1 Tipos de Corrosão.....	15
2.1.1 Corrosão Eletroquímica.....	17
2.1.2 Corrosão Química.....	18
2.1.3 Corrosão Eletrolítica.....	18
2.2 Taxa de Penetração de Corrosão	19
2.3 O Diagrama De Pourbaix	20
2.4 Inibidores de corrosão.....	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
5 CONCLUSÕES.....	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

É muito comum no dia a dia se deparar com muitos problemas corrosivos. Devido à complexidade do processo, em muitas situações, não é tão rápido justificar o porquê de uma estrutura corroída, dentre tantas outras similares, não apresentarem problemas.

A corrosão é definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação física ou 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 inadequado para o uso (GENTIL, 1996).

Segundo Ribeiro (2018, p. 18),

Corrosão pode ser entendida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, nas temperaturas ambientes usuais, acima de 5°C e abaixo de 65°C, como resultado de reações deletérias de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de deterioração.

A deterioração leva ao desgaste, a variações químicas na composição e a modificação estrutural de cada elemento, ocasionando mudanças em suas propriedades mecânicas. Saber como evitar estudando as condições de corrosões severas e proteger os materiais é de grande relevância tanto econômica, quanto estrutural.

Ribeiro (2018) afirma que o processo por meio do qual um metal retorna ao seu estado natural, tal qual se encontrava na natureza, é espontâneo, pois corresponde a uma redução da energia livre de Gibbs. Esse fenômeno vai acompanhado de uma perda de elétrons por parte do metal, denominado de “oxidação”; mas, em elementos estruturais nas construções, é preferível denominá-lo de “corrosão”, pois sempre se dá em presença de água e nas condições ambientes.

Todos os meios podem ter características ácidas, básicas ou neutras e podem ser aeradas. Quando expostos na atmosfera, a poeira, umidade, temperatura, gases, chuvas, entre outros fatores podem influenciar na deterioração do material. Sob o ponto de vista da corrosão, um determinado meio pode ser extremamente agressivo para um material e inofensivo para outro.

No caso do aço carbono, a corrosão é um processo de deterioração muito comum, pois em contato com o oxigênio e a água, tende a perder suas propriedades mecânicas. Esse material ainda é muito utilizado nas obras devido ao seu baixo custo e, nesse caso, é necessário tomar os devidos cuidados, a fim de contornar e prolongar a vida útil desse metal.

Diante desse contexto, o mercado conta com a fabricação de “inibidores” que, segundo o dicionário, significa: “Que inibe, causa inibição, interrupção; inibitório” (Dicio, 2018), e quando presentes em quantidades adequadas, reduzem ou eliminam a corrosão do material, criando uma barreira de proteção contra a sua deterioração, uma vez que é um processo natural que o metal torne a sua forma em seu estado original.

No presente estudo foi avaliado o uso de um inibidor sintético para minimização dos efeitos corrosivos no aço carbono. Diversos estudos apontam a eficácia desta técnica para redução e/ou eliminação da corrosão. O aço carbono foi escolhido pois é um material muito utilizado nas construções, a fim analisar os resultados obtidos diretamente nos meios mais comuns pelo qual serão expostos.

O produto utilizado foi um Fundo para Galvanizado da marca Tintas Starlux LTDA - diluído na proporção correta de 0,15% com um Thinner. Esse produto já é comercializado na indústria e já é utilizado para a finalidade de acondicionar superfícies metálicas novas, em ambientes externos ou internos, que ainda não tenham indícios de corrosão. Com durabilidade, acabamento e resistência o Fundo para Galvanizado é um produto à base de resina alquídica de rápida secagem.

Medidas de perda de massa, acompanhadas de registro fotográfico, foram feitas com a finalidade de confirmar a habilidade de inibição dos processos de corrosão pelo composto.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi apresentar, analisar e a discutir o comportamento da corrosão no aço carbono, a fim de investigar sua reação em meios agressivos, com e sem o inibidor utilizado e protegendo-o contra ataques de agentes agressivos capazes de destruir o material.

Para tal, são objetivos específicos:

- Identificar, em diferentes meios, o comportamento da corrosão no material, com e sem o uso de inibidores;
- Verificar, periodicamente, através de fotografias, qual o ambiente mais corrosivo, para posterior comparação;
- Calcular a TPC (taxa de penetração da corrosão) para todos os meios avaliados.

3 PROBLEMATIZAÇÃO

Os problemas com a corrosão são frequentes e ocorrem nas mais diversas atividades, como por exemplo na indústria química, de construção civil, automobilística, nos meios de transportes aéreos, ferroviários, marítimo, em monumentos, esculturas e diversos outros meios. (GENTIL, 1996).

A vida útil de cada material pode ser reduzida quando as condições do meio forem inadequadas às condições ambientais impostas, acarretando vários problemas, incluindo a perda de seção das barras de aço, deformações e até mesmo risco de colapso nas estruturas.

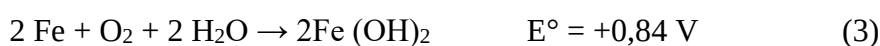
Dessa forma, faz-se necessário a análise do comportamento do aço carbono em diferentes meios, de maneira que o metal não sofra de forma tão agressiva com a corrosão, revestindo-o e criando barreiras contra agentes externos.

2 REVISÃO TEÓRICA

A corrosão é um processo espontâneo que está constantemente transformando os materiais metálicos de modo que a durabilidade e o seus desempenhos deixam de satisfazer os fins que se destinam. Os metais são encontrados na natureza sob forma de compostos e dessa forma, tendem a reagir naturalmente com os gases e líquidos no meio ambiente (GENTIL, 1996).

A composição do aço carbono é mais de 97% de Ferro e menos de 2% de Carbono, além de outros elementos como Manganês e Silício no processo de fabricação. Enquanto a oxidação é a perda de elétrons, a redução é o ganho de elétrons. Sempre que um material é corroído, ou seja, oxidado, o outro é reduzido.

Enquanto o cobre, alumínio, prata quando oxidam formam uma camada de proteção natural, o ferro enferruja formando $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, que não é uma película de proteção, de tal forma que essa camada contribui para a total deterioração do metal. (SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015). O elemento fica mais vulnerável quando exposto a água e ao oxigênio, formando-se uma camada porosa originando a ferrugem. As reações (1), (2) e (3) a seguir apresentam o processo natural de corrosão do ferro:



(equação geral da formação da ferrugem) (ALVES, 2021).

O metal age como redutor, cedendo elétrons que são recebidos pela substância oxidante existente no meio corrosivo.

2.1 Tipos de Corrosão

De acordo com Gentil (2022), a corrosão pode ocorrer de diferentes formas, sendo elas segundo a sua morfologia, causas ou mecanismos, meios corrosivos, fatores mecânicos e a localização do ataque.

Conforme a sua morfologia, apresentada na Figura 1, são os formas de corrosão:

- Uniforme: que se processa em toda a extensão da superfície, ocorrendo a perda da espessura;
- Por placas: que se localiza em regiões da superfície metálica e não em toda a sua extensão;
- Alveolar: se processa na superfície produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos, com fundos arredondados e profundidade menor que o diâmetro;
- Por pites: localizados em pequenas áreas da superfície produzindo pites e profundidade também menor que seu diâmetro;
- Intergranular e Transgranular: quando a corrosão se dá entre os grãos da rede cristalina do material metálico, podendo fraturar quando solicitado por esforços mecânicos, tendo-se corrosão por tensão fraturante;
- Filiforme: que se processa sob a forma de finos filamentos não profundos, que se propagam em diferentes direções e não se ultrapassam;
- Por esfoliação: que se processa de forma paralela à superfície metálica. O produto de corrosão é volumoso e ocasiona a separação das camadas entre as regiões que sofrem as ações corrosivas, ocorrendo a desintegração do material em formas de placas na superfície;
- Grafítica: se processa no ferro fundido em temperatura ambiente e o ferro metálico é convertido em produtos de corrosão, restando grafite, ficando com aspecto escuro;
- Dezincificação: ocorre em ligas de cobre-zinco, observando-se o aparecimento de regiões com cor avermelhada, corroendo o zinco e restando o cobre;

- Empolamento de hidrogênio: o hidrogênio atômico penetra no material metálico, difundindo-se rapidamente e se transformando em hidrogênio molecular H_2 , exercendo pressão e formando bolhas;
- Em torno do cordão de solda: ocorre em aços inoxidáveis não estabilizados ou com teores de carbono maiores que 0,03%, processando-se intergranularmente.

Figura 1: Tipos de corrosão.



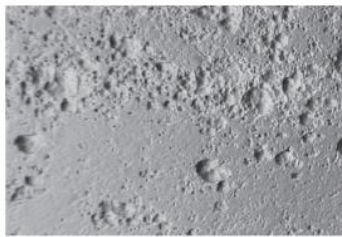
Uniforme



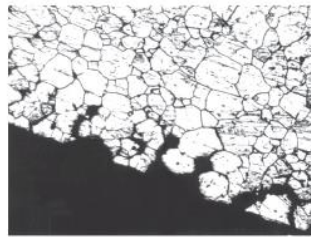
Em placas



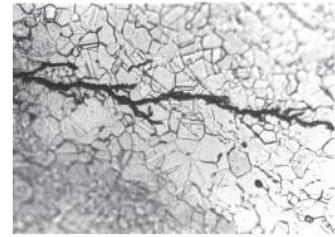
Alveolar



Puntiforme (pite)



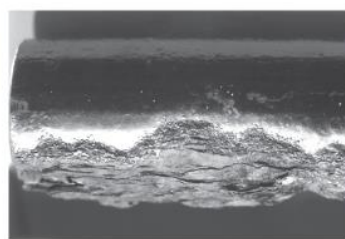
Intergranular



Transgranular



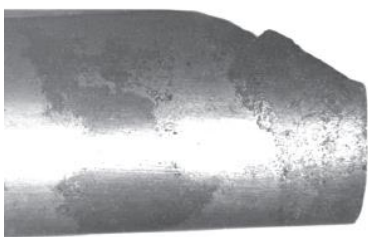
Filiforme



Por esfoliação



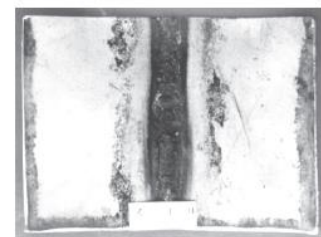
Grafítica



Dezincificação



Empolamento pelo hidrogênio



Em torno de solda

Fonte: GENTIL, 2022.

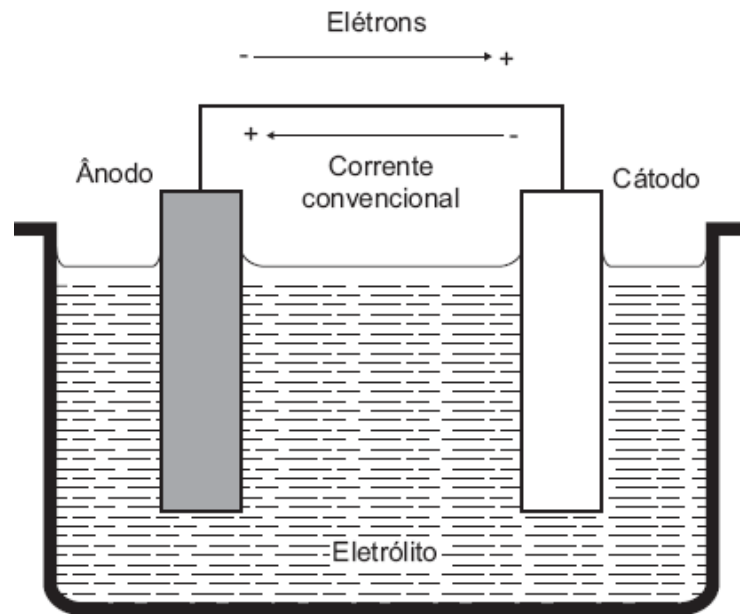
Neste trabalho será abordado as formas de corrosão segundo a sua morfologia que atacaram o material estudado, a fim de identificá-las e preveni-las.

2.1.1 Corrosão Eletroquímica

O processo de corrosão eletroquímica, como acontece com o concreto armado, é o mais frequente na natureza e se caracteriza quando há diferentes materiais em contato um com o outro, gerando uma diferença de potencial e a formação de áreas anódicas e catódicas, consequentemente, cedendo elétrons em uma região e recebendo em outra.

A área anódica é a superfície que sofre a oxidação, onde há a passagem do metal da forma reduzida para a forma oxidada, em contrapartida, a área catódica é a superfície protegida e não há corrosão, nela ocorre as reações de redução. A Figura 2 ilustra como acontece o processo:

Figura 2: Esquema de uma pilha eletroquímica.



Fonte: GENTIL, 2022.

Serão listadas abaixo as principais causas de aparecimento de pilhas de corrosão:

Pilhas de eletrodos diferentes: são denominadas de pilhas galvânicas e surgem quando dois metais diferentes são colocados em contato na presença de um eletrólito.

Pilhas de ação local: aparecem em um mesmo metal devido a sua heterogeneidade, ou seja, um material composto por várias outras substâncias.

Pilha ativa-passiva: quando o material cria uma película protetora na superfície metálica. Por exemplo: alumínio, cromo, titânio, entre outros. Se essa película for danificada em algum ponto, é formada uma área anódica na presença de uma área catódica e, conseqüentemente, o aparecimento de uma pilha, formando uma corrosão localizada.

Pilha de concentração iônica: é uma pilha que é formada por dois materiais semelhantes e originam uma diferença de potencial quando expostos a eletrólitos em diferentes concentrações.

Pilha de aeração diferencial: é formada por dois materiais semelhantes, mas com concentração de oxigenação diferentes, formando uma diferença de potencial. No interior do material, há uma dificuldade de renovação do eletrólito, sendo menos aerado, denominado área anódica. Na parte externa do material tende a ter mais oxigênio, sendo a área catódica. O desgaste é ocasionado no interior da fresta.

2.1.2 Corrosão Química

Esses processos são muito comuns no dia a dia, mas são mais frequentes em ambientes industriais, onde as condições são diversas, como por exemplo: equipamentos que trabalham aquecidos com fornos, tubulações de exaustão, equipamentos de siderurgia, entre outros. São processos menos frequentes na natureza, mas existem. Os poluentes presentes na atmosfera reagem quimicamente com o material e contribuem para a sua deterioração.

As temperaturas elevadas contribuem para a corrosão química, pois há mais energia, assim como com a interação com outros gases, formando uma fina camada de óxido. Ocorre a interação direta entre o metal e o meio corrosivo, não necessita de água líquida para ocorrer, ou seja, não ocorre a transferência de elétrons.

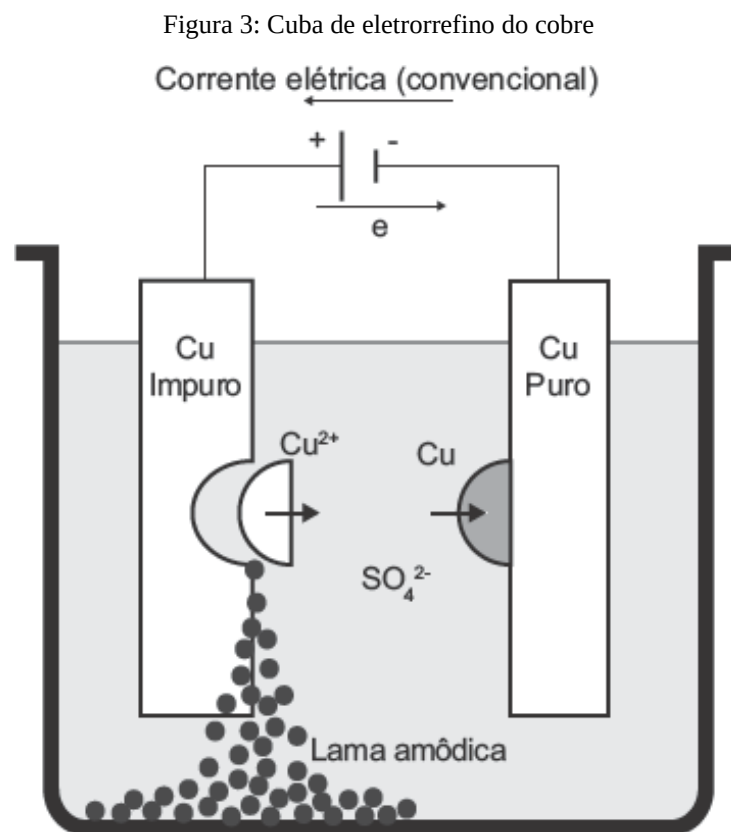
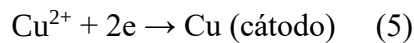
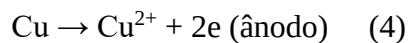
2.1.3 Corrosão Eletrolítica

Pode-se definir a corrosão eletrolítica como a deterioração da superfície de um metal forçada a funcionar como ânodo ativo de uma pilha eletrolítica. As áreas corroídas apresentam produtos de corrosão localizadas nas falhas dos revestimentos protetores das tubulações enterradas, ocorrendo a perfuração da sua parede e causando vazamentos.

As intensidades dessas correntes são maiores que as originadas nas pilhas naturais, resultantes das heterogeneidades dos materiais ali presentes, causando uma corrosão mais intensa e de grande velocidade. Dutos enterrados, como oleodutos, adutoras, mineradoras, estão sujeitos a esse tipo de situação por causa das correntes elétricas de interferência, que são

correntes elétricas de sentido convencional que abandonam o seu circuito normal para fluir pelo solo ou água, denominadas de correntes de fuga, que podem ser estáticas: quando tem intensidades e percursos constantes ou dinâmicas: que variam continuamente de intensidade e/ou nos seus percursos (GENTIL, 2022).

A Figura 3 exemplifica melhor a corrosão eletrolítica das áreas anódicas e catódicas. Aplicando uma diferença de potencial, tem-se a troca de elétrons através da solução de sulfato de cobre como eletrólito. A parte anódica vai oxidando, ou seja, perdendo elétrons e massa, enquanto a parte catódica vai ganhando. As reações (4) e (5) abaixo exemplificam melhor o processo:



Fonte: GENTIL, 2022.

2.2 Taxa de Penetração de Corrosão

Um importante destaque abordado nesse tema é a Taxa de Penetração de Corrosão do Material (TPC) que, uma vez calculada, pode-se prever em quanto tempo aquela estrutura pode

existir e ser considerada segura para uso. A mesma é expressa em mm/ano e apresentada na Equação (4). Esses valores da taxa de corrosão podem ser utilizados apenas para corrosão de forma uniforme. Portanto:

$$TPC = \frac{K \cdot W}{\rho \cdot A \cdot t} \quad (4)$$

Onde:

K = constante de dimensionalização

W = perda de peso após um tempo de exposição t

ρ = massa específica da amostra

A = área exposta da amostra

t = tempo de exposição

Uma vez calculada a taxa de penetração da corrosão, é possível classificar os níveis de corrosividade. A tabela 1 apresenta a classificação da corrosividade de acordo com o cálculo da TPC.

Tabela 1: Classificação da Taxa de Corrosão

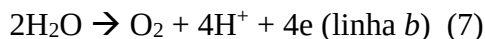
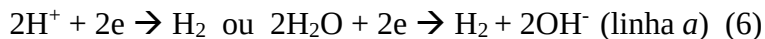
Taxa de corrosão uniforme	
(mm/ano)	Corrosividade
< 0,025	Baixa
0,025 a 0,120	Moderada
0,130 a 0,250	Alta
> 0,250	Severa

Fonte: NACE RP-07-75 (2013)

2.3 O Diagrama De Pourbaix

Para prever as condições sob as quais podem-se ter corrosão, imunidade ou possibilidade de passivação, Pourbaix criou um método gráfico, relacionando potencial e pH. Para entender melhor o diagrama, Gentil (2022) explica que as reações que só dependem do pH são representadas pelas retas paralelas ao eixo das ordenadas, as reações que dependem do potencial (E_H) são representadas pelas retas paralelas ao eixo das abscissas e as que dependem das duas são representadas por um conjunto de retas inclinadas.

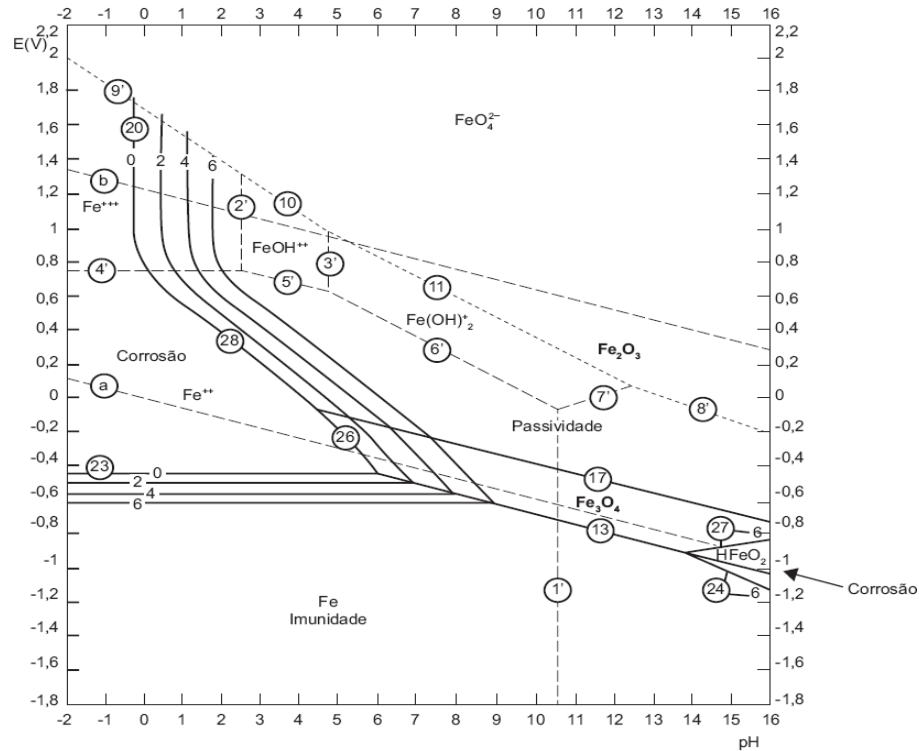
A Figura 4 representa o diagrama de equilíbrios eletroquímicos e pH relativos ao caso do ferro na presença de soluções aquosas diluídas, a 25°C. As linhas *a* e *b* representam as condições de equilíbrio das reações (6) e (7):



Abaixo da linha *a*, que equivale a $\text{pH}_2 = 1 \text{ atm}$, a água se decompõe por redução, gerando H_2 . Acima da linha *b*, que corresponde a $\text{pO}_2 = 1 \text{ atm}$, a água se decompõe por oxidação, gerando O_2 . As linhas 1', 2', 3' e 4'... representam os limites de predominância relativa dos corpos dissolvidos. As linhas 13 e 17 separam os domínios de estabilidade relativa dos corpos sólidos Fe, Fe_3O_4 e Fe_2O_3 . As famílias de linhas 20, 28, 26 e 23 demonstram as condições de equilíbrio entre os corpos dissolvidos e sólidos.

O diagrama representado na Figura 4, define as regiões onde o ferro está dissolvido sob a forma de íons Fe^{2+} , Fe^{3+} e HFeO^{2-} e as regiões onde o metal está sob a forma sólida, pura ou um de seus óxidos. Se o potencial e o pH de eletrodo que correspondem à região onde os íons Fe^{2+} são estáveis, o ferro vai se dissolver até que a solução atinja a concentração de equilíbrio indicada pelo diagrama. Essa dissolução é a corrosão do metal. Se o metal estiver em uma região estável, ele não irá corroer e será imune contra a corrosão. E, finalmente, a zona de passivação se caracteriza quando as circunstâncias de interface correspondem a uma região de estabilidade, formando-se uma superfície contra a ação corrosiva da solução.

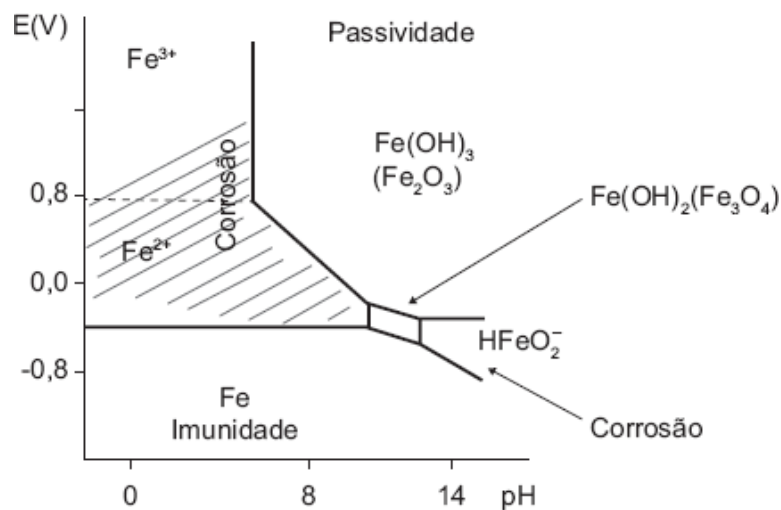
Figura 4: Diagrama de Pourbaix para o ferro: equilíbrio potencial – pH para o sistema Fe-H₂O a 25°C.



Fonte: GENTIL, 2022.

O seguinte diagrama (Figura 5) tem como objetivo mostrar de forma simplificada o comportamento previsto para um metal puro imerso em água pura. Eles são úteis no estudo da corrosão e da proteção contra ela, mas não são suficientes para explicar todos os fenômenos químicos e eletroquímicos que ocorre na interface do metal.

Figura 5: Diagrama simplificado de potencial e pH para o sistema Fe-H₂O



Fonte: GENTIL, 2022.

2.4 Inibidores de corrosão

Ainda segundo Gentil (2022), um inibidor de corrosão é uma substância que, quando está presente em meio corrosivo em concentração adequada, diminui a sua taxa de corrosão, sem mudar a concentração de qualquer agente corrosivo. Para que sua utilização seja satisfatória, é preciso analisar as causas da corrosão no sistema, identificando os problemas que podem ser solucionados; o custo da sua utilização; propriedades e os mecanismos de ação dos inibidores, verificando sua compatibilidade com o processo e os materiais utilizados; e, por último, as condições adequadas de adição e controle.

Eles podem ser classificados quanto a sua composição, sendo orgânicos e inorgânicos; quanto ao comportamento, sendo oxidantes, não oxidantes, anódicos, catódicos e adsorção.

Os inibidores anódicos retardam e impedem a ação do ânodo, criando uma película protetora no material, por exemplo: hidróxidos, carbonatos, silicatos, boratos. Sempre que forem utilizados, deve ser levado em consideração a quantidade de produto adequada para a proteção, uma vez que se for insuficiente, pode ocorrer corrosão nas áreas não protegidas corretamente.

Os inibidores catódicos reprimem as ações catódicas, fornecendo íons metálicos capazes de reagir com a alcalinidade catódica, produzindo compostos insolúveis que envolvem a área catódica, impedem a ação do oxigênio e a condução de elétrons. São exemplos o sulfato de zinco, de magnésio e níquel., pois seus íons Zn^{2+} , Mg^{2+} e Ni^{2+} formam com as hidroxilas OH^- , $Zn(OH)_2$, $Mg(OH)_2$ e $Ni(OH)_2$, interrompendo o processo corrosivo. Logo, são considerados mais seguros, pois fazem uma polarização catódica e como o cátodo não entra em solução, não haverá a corrosão nessas áreas.

Os inibidores de adsorção atuam como películas protetoras nas áreas anódicas e catódicas, interferindo com a ação eletroquímica. A velocidade do fluido, volume, concentração do inibidor usado para tratamento, temperatura do sistema afetam a sua proteção. Substâncias orgânicas com grupos fortemente polares formam as películas de adsorção. Alguns inibidores só são eficazes em temperaturas adequadas, por exemplo: Cicloexilamina a 32°C, Ácido naftênico a 46°C, Ácido esteárico 88%.

Sendo assim, uma das alternativas é utilizá-los a fim de retardar ou até mesmo isentar os materiais da reação corrosiva. Eles são aplicados sob o metal, garantindo sua proteção e sem mudar sua composição ou forma física, apenas aderindo-se, criando uma película protetora que

atua como uma barreira contra substâncias agressivas ali presentes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, utilizou-se o aço carbono. O aço é a liga ferro-carbono em que o teor de carbono varia desde 0,008 até 2,11 % (Chiaverini, 1996). O aço e o ferro fundido são ligas de ferro e carbono, com elementos residuais no processo de fabricação, como: silício, manganês, fósforo e enxofre, e elementos adicionados com o intuito de melhorar as características físicas e mecânicas do material denominados elementos de liga (PFEIL, 2022).

É importante salientar que o trabalho é teórico experimental e toda a prática foi feita em casa e não em laboratório, devido a pandemia do SARS-CoV-2. Foi utilizado um prego de aço carbono para o experimento, obtido no comércio local de Pau dos Ferros/RN. Ele foi imerso em quatro diferentes meios: solução ácida composta por ácido clorídrico e água tratada pela CAERN recolhida da torneira com pH 7,1; água salina; a água da chuva e no ar, estando em estado natural e coberto por um fundo para galvanizado - diluído na proporção correta de 0,15% com um Thinner - que tem a função de inibir e proteger o material.

A Tabela 2 apresenta a disposição das amostras estudadas em seus mais diferentes meios e condições operacionais.

Tabela 2: Amostras e condições avaliadas no presente estudo.

AMOSTRAS SEM		AMOSTRAS COM
INIBIDOR	AMBIENTE	INIBIDOR
1	Solução ácida	17
2	Solução ácida	18
3	Solução ácida	19
4	Solução ácida	20
5	Solução salina	21
6	Solução salina	22
7	Solução salina	23
8	Solução salina	24
9	Água da chuva	25
10	Água da chuva	26
11	Água da chuva	27
12	Água da chuva	28
13	Ar	29

14	Ar	30
15	Ar	31
16	Ar	32

Fonte: autor, 2022

As soluções salina e ácida foram preparadas na concentração de 1 mol/L, com auxílio de uma mini balança digital alta precisão Pocket Scale MH-500 e utilizando 1 litro de água tratada para 100ml de ácido clorídrico, respectivamente. A água da chuva foi obtida na cidade de Pau dos Ferros, RN, no dia 23 de março (Latitude: 6°06'39.4", Longitude: 38°12'13.8").

A partir de estudos bibliográficos foram feitos os ensaios experimentais, colhidos os resultados através da pesagem, durante 60 dias. As amostras foram devidamente limpas, pesadas, lavadas e secas, a fim de que não restasse nenhum resíduo capaz de interferir no experimento. Foi utilizada a mini balança digital alta precisão Pocket Scale MH-500 para realizar a pesagem dos metais antes, durante e depois do experimento, em um intervalo de 15 dias. O inibidor utilizado foi um fundo para galvanizado da marca Tintas Starlux LTDA e a sua data de fabricação não foi especificada.

A partir da pesagem das amostras e o cálculo da sua área, foi calculado a Taxa de Penetração da Corrosão (TPC) e realizada a construção de gráficos para o acompanhamento do efeito corrosivo e do uso do inibidor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De início foram adotadas as amostras de aço carbono e colocadas cada um em seu meio, de modo que, a cada 8 amostras, 4 tinham inibidor anticorrosivo. No total, foram utilizadas 32 amostras, com tamanhos em média de 7,8 cm e pesos quase semelhantes, conforme mostra na Tabela 3, na coluna peso inicial. Foram feitas as pesagens iniciais e, num intervalo de 15 em 15 dias, durante 60 dias, uma amostra de cada meio com e sem o inibidor era retirada e pesada novamente, a fim de analisar a sua perda de massa diante dos ambientes corrosivos, conforme mostra a tabela 3.

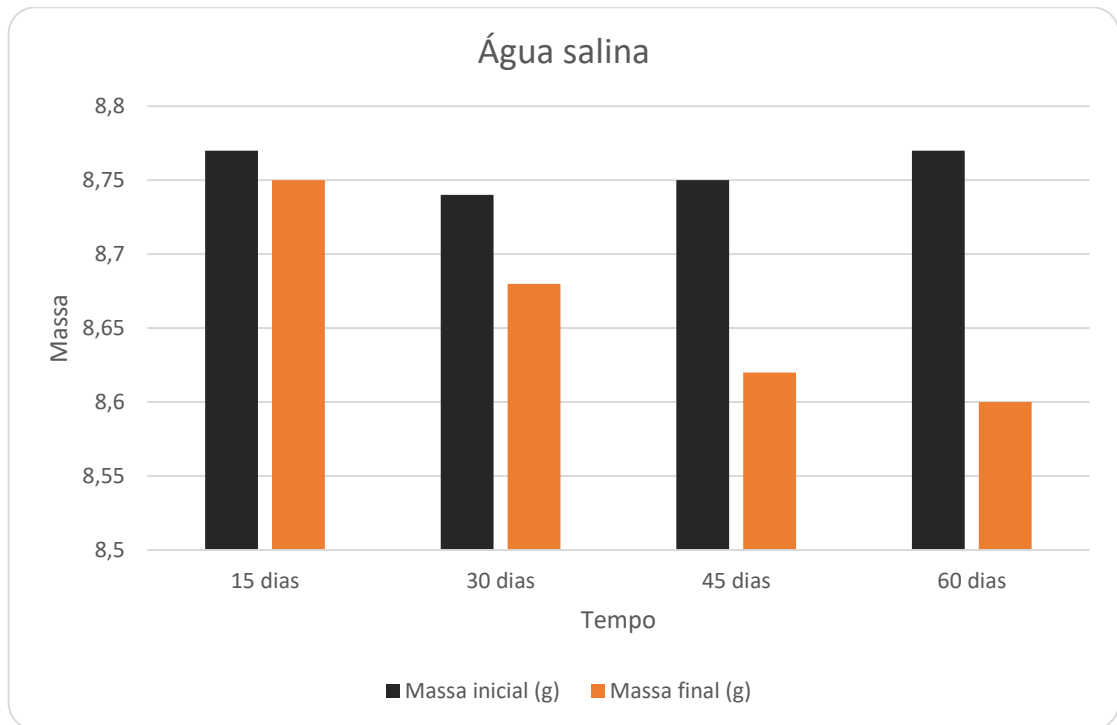
Tabela 3: Pesagem inicial e final das amostras e a sua perda de massa sem o inibidor.

SEM INIBIDOR					
	Meios	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Perda de massa (g)	Porcentagem de perda (%)
1	Água salina	8,77	8,75	0,02	2%
2	Água salina	8,74	8,68	0,06	6%
3	Água salina	8,75	8,62	0,13	13%
4	Água salina	8,77	8,6	0,17	17%
1	Água da chuva	8,74	8,68	0,06	6%
2	Água da chuva	8,77	8,6	0,17	17%
3	Água da chuva	8,75	8,54	0,21	21%
4	Água da chuva	8,77	8,44	0,33	33%
1	Ar	8,75	8,74	0,01	1%
2	Ar	8,72	8,71	0,01	1%
3	Ar	8,78	8,76	0,02	2%
4	Ar	8,75	8,73	0,02	2%
1	Solução ácida	8,77	8,6	0,17	17%
2.4	Solução ácida	8,73	8,55	0,2	20%
3.4	Solução ácida	8,77	8,47	0,3	30%
4.4	Solução ácida	8,77	8,34	0,43	43%

Fonte: autor, 2022

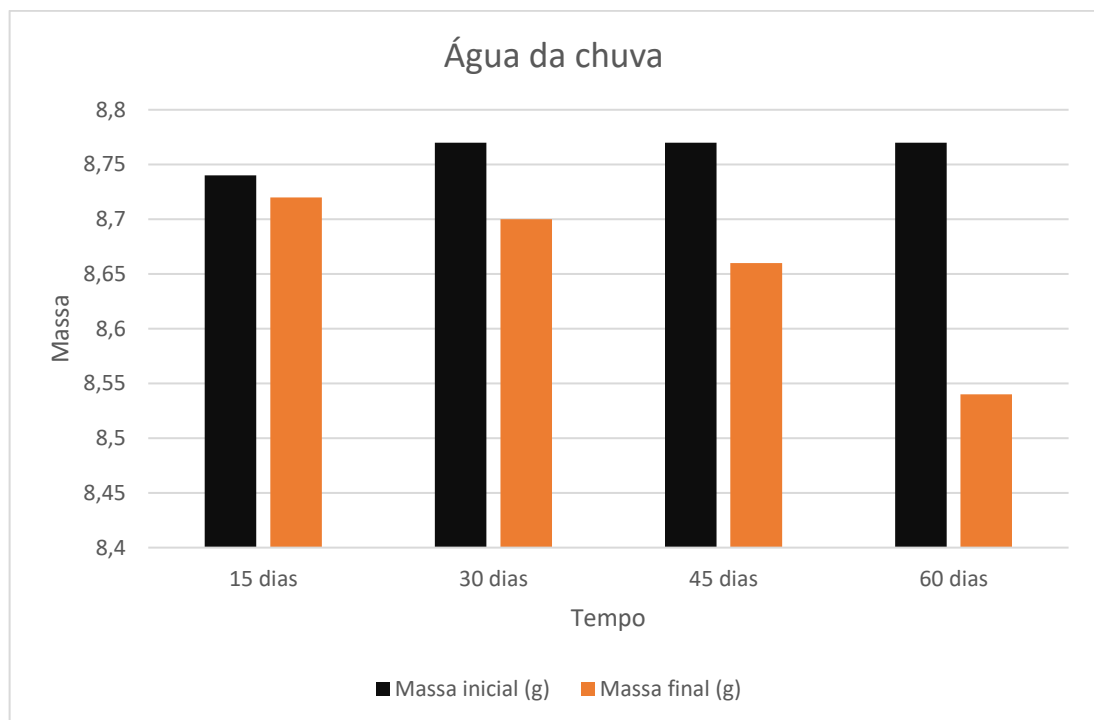
A seguir estão apresentados as Figuras 6, 7, 8 e 9 mostrando o comparativo de suas respectivas perdas de massa sem o inibidor, a fim de analisar o comportamento de cada amostra.

Figura 6: Análise das massas com suas pesagens inicial e final em contato com a água salina



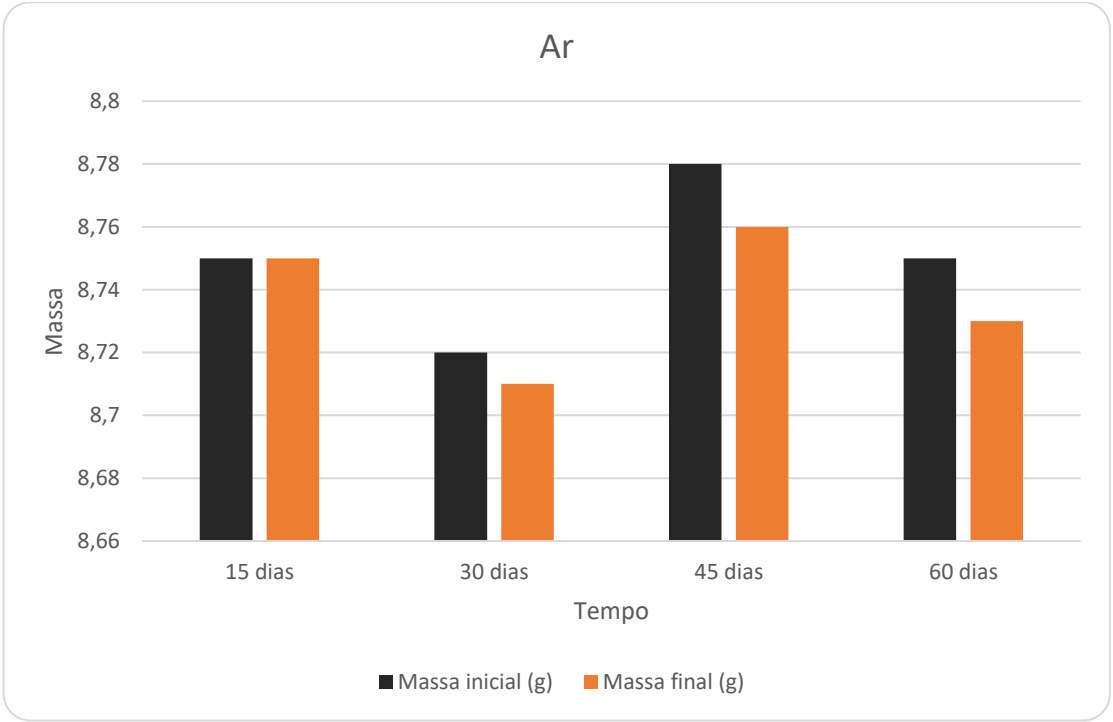
Fonte: autor, 2022

Figura 7: Análise da pesagem inicial e final em contato com a água da chuva



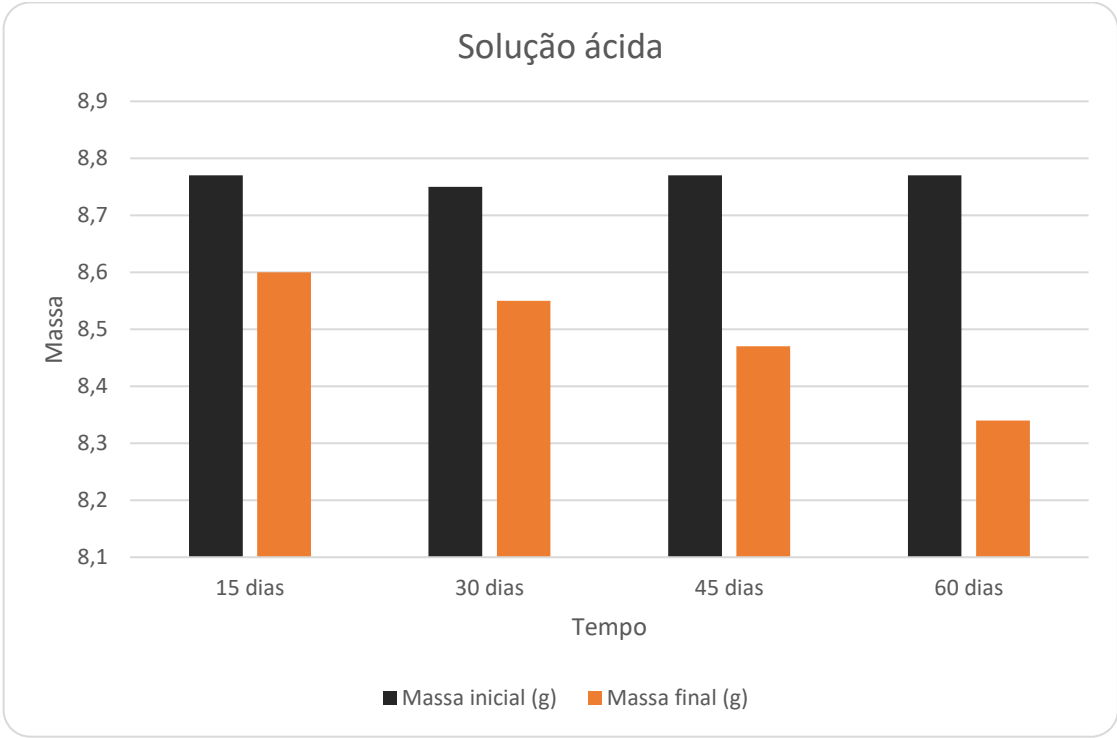
Fonte: autor, 2022

Figura 8: Análise da pesagem inicial e final em contato com o ar.



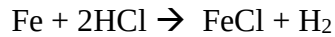
Fonte: autor, 2022

Figura 9: Análise da pesagem inicial e final em contato com o ácido clorídrico.



Fonte: autor, 2022

De acordo com cada figura, pode-se analisar uma perda de massa do material em pouco tempo de análise, tendo em vista a exposição desprotegida aos diferentes meios. O ambiente que se comportou mais corrosivo foi a solução ácida, como mostra a Figura 9, isso porque o ácido clorídrico é formado pelo gás cloreto de hidrogênio (HCl) dissolvido em água e é bastante forte, além de muito tóxico. A reação pode ser descrita como:



Observando-se que o aço sólido vai desaparecendo e o gás hidrogênio vai sendo formado (PANNONI, 2009).

A Figura 10 mostra o processo da corrosão em meio ácido, cada uma foi retirada do meio de 15 em 15 dias. Pode-se visualizar a presença da corrosão uniforme, alveolar e por pites.

Figura 10: Corrosão por meio ácido



Fonte: autor, 2022

A Figura 11 mostra o processo da corrosão na água salgada e pode-se identificar a presença maior da corrosão uniforme.

Figura 11: Corrosão por água salgada.



Fonte: autor, 2022

A água salgada apresenta uma elevada concentração de sais que formam uma ponte salina que possibilita o fenômeno da oxirredução entre o oxigênio, o ar e os metais expostos, porém ainda se mostrou menos corrosiva que a água da chuva. Isso porque a água da chuva foi recolhida do meio ambiente e não foi feito nenhum tipo de tratamento, já que nas construções é esse o real meio pelo qual os materiais estão submetidos. Além de ser um líquido poluído, pode apresentar substâncias tóxicas como: ácido sulfúrico, nítrico, bactérias, além de absorver a poeira e outros agentes quando está caindo (DIAS, c2022). A seguir, a Figura 12 mostra o processo de corrosão pela água da chuva:

Figura 12: Corrosão pela água da chuva.



Fonte: autor, 2022

O meio que se mostrou em processo mais lento de perda de massa foi em contato com o ar, mas visivelmente aparece a camada oxidada, como mostra a Figura 13. Nesse meio também houve a corrosão uniforme e por pites.

O Ferro se oxida facilmente através do ar e umidade e é um processo mais comumente chamado de ferrugem, conforme mostram as reações (1), (2) e (3).

Figura 13: Corrosão pelo oxigênio



Fonte: autor, 2022

Com o objetivo de analisar a eficácia do inibidor na prevenção da corrosão, foram adicionadas 3 demãos do produto e imersas nos meios nas mesmas concentrações, conforme a tabela 4 mostra:

Tabela 4: Pesagem inicial e final das amostras e a sua perda de massa com o inibidor

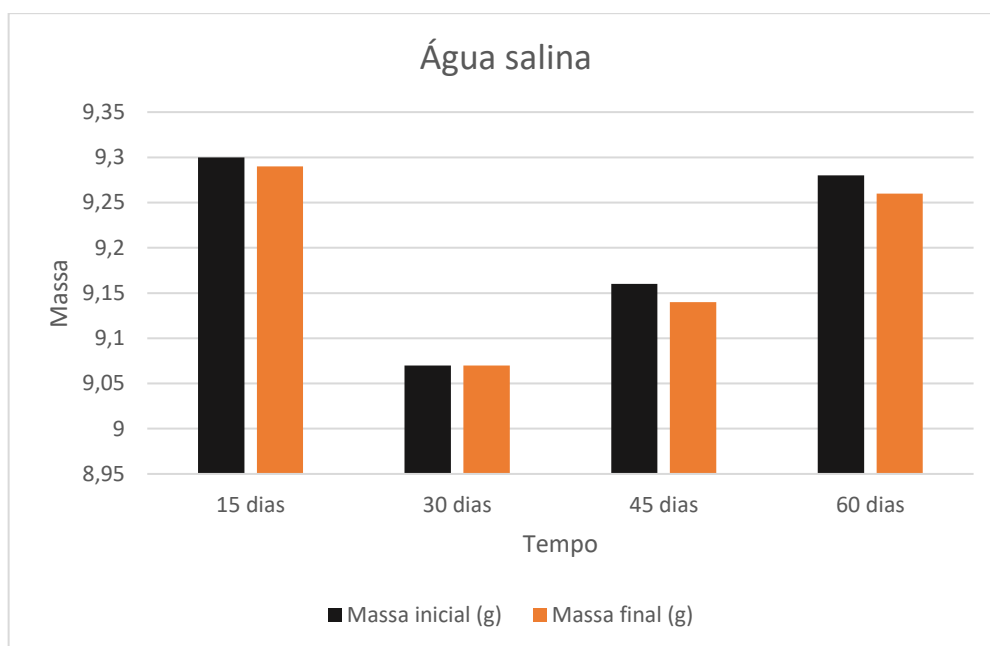
COM INIBIDOR					
Meios		Peso inicial (g)	Peso final (g)	Perda de massa (g)	Porcentagem de perda (%)
1	Água salina	9,3	9,29	0,01	1%
2	Água salina	9,07	9,07	0	0%
3	Água salina	9,16	9,14	0,02	2%
4	Água salina	9,28	9,26	0,02	2%
1	Água da chuva	9,26	9,24	0,02	2%
2	Água da chuva	9,22	9,22	0	0%
3	Água da chuva	9,26	9,24	0,02	2%
4	Água da chuva	9,08	9,05	0,03	3%
1	Ar	9,32	9,32	0	0%
2	Ar	9,36	9,36	0	0%

3	Ar	9,36	9,36	0	0%
4	Ar	9,36	9,35	0,01	1%
1	Solução ácida	9,24	9,22	0,02	2%
2	Solução ácida	9,08	9,04	0,04	4%
3	Solução ácida	9,08	9,03	0,05	5%
4	Solução ácida	9,41	9,35	0,06	6%

Fonte: autor, 2022

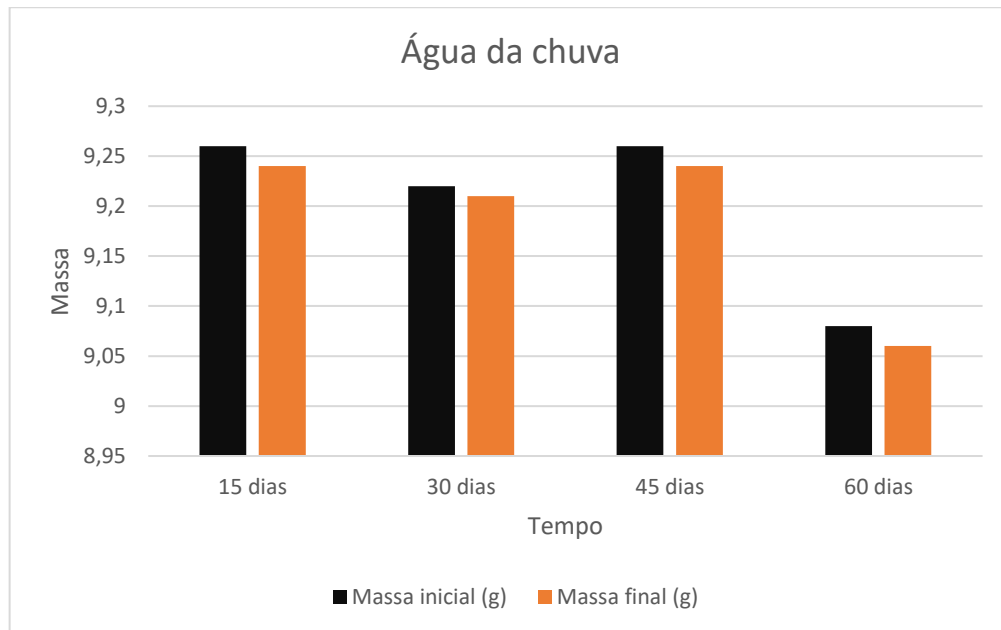
A seguir estão apresentados as Figuras 14, 15, 16 e 17 mostrando o comparativo de suas respectivas perdas de massa com o inibidor, a fim de analisar o comportamento de cada amostra.

Figura 14: Análise da pesagem inicial e final do material com inibidor em contato com a água salina



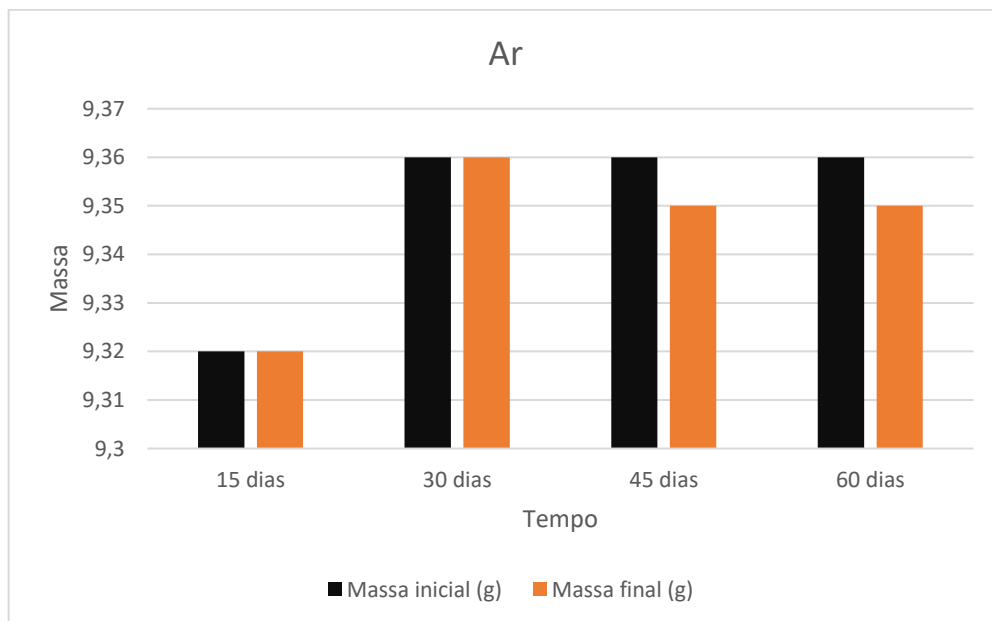
Fonte: autor, 2022

Figura 15: Análise da pesagem inicial e final do material com inibidor em contato com a água da chuva.



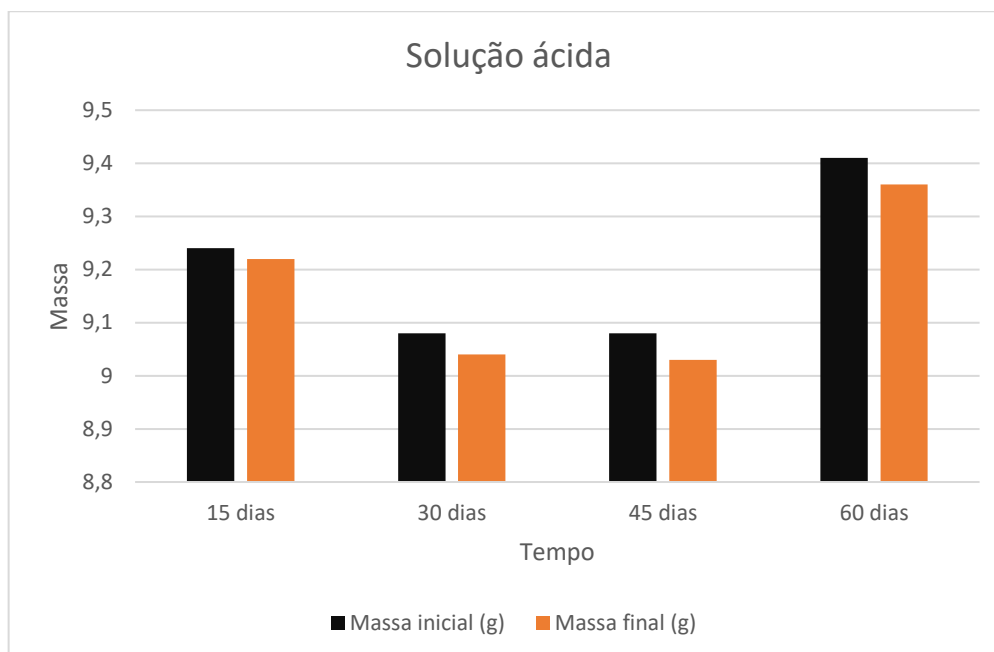
Fonte: autor, 2022

Figura 16: Análise da pesagem inicial e final do material com inibidor em contato com o ar.



Fonte: autor, 2022

Figura 17: Análise da pesagem inicial e final do material com inibidor em contato com a solução ácida.



Fonte: autor, 2022

De acordo com as amostras estudadas, e que foram medidas com o auxílio da régua, não houveram perdas significativas de tamanho a olho nu, tendo em vista que antes e depois do experimento, as amostras permaneceram com o mesmo tamanho, tanto com o inibidor, quanto sem ele. Uma vez calculada a sua área, foi possível utilizar a equação (4). A Taxa de Penetração da Corrosão, no experimento, foi expressa na Tabela 5 e 6. Foram utilizadas as pesagens do material com 60 dias de exposição.

Tabela 5: Taxa de Penetração da Corrosão em cada meio sem o inibidor

Ambiente	TPC (mm/ano)
Solução Ácida	0,348830457
Ar	0,016224672
Água da chuva	0,186583733
Água salina	0,137909716

Fonte: autor, 2022

Tabela 6: Taxa de Penetração da Corrosão em cada meio com o inibidor

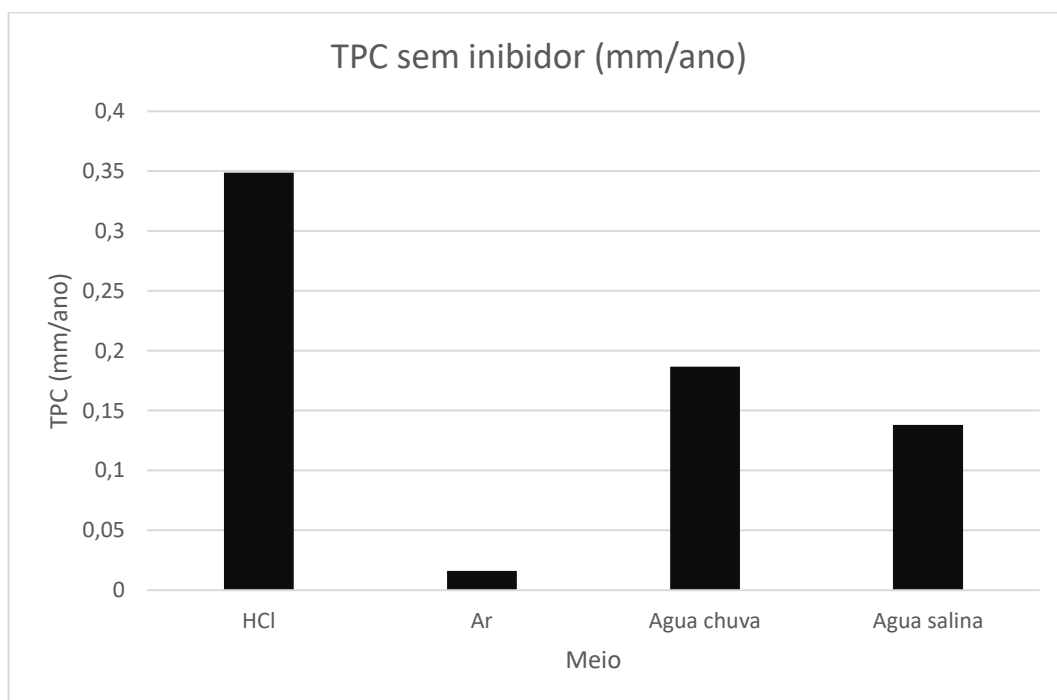
Ambiente	TPC (mm/ano)
Solução Ácida	0,04886027
Ar	0,008143378
Água da chuva	0,016286757
Água salina	0,016286757

Fonte: autor, 2022

De acordo com os resultados, a eficácia do inibidor utilizado se mostrou muito relevante, uma vez que a perda de massa ao longo dos dias foi quase insignificante, porém, ainda é notório que o ácido clorídrico é o maior agente corrosivo dentre os ambientes expostos, como mostram os gráficos 9 e 10.

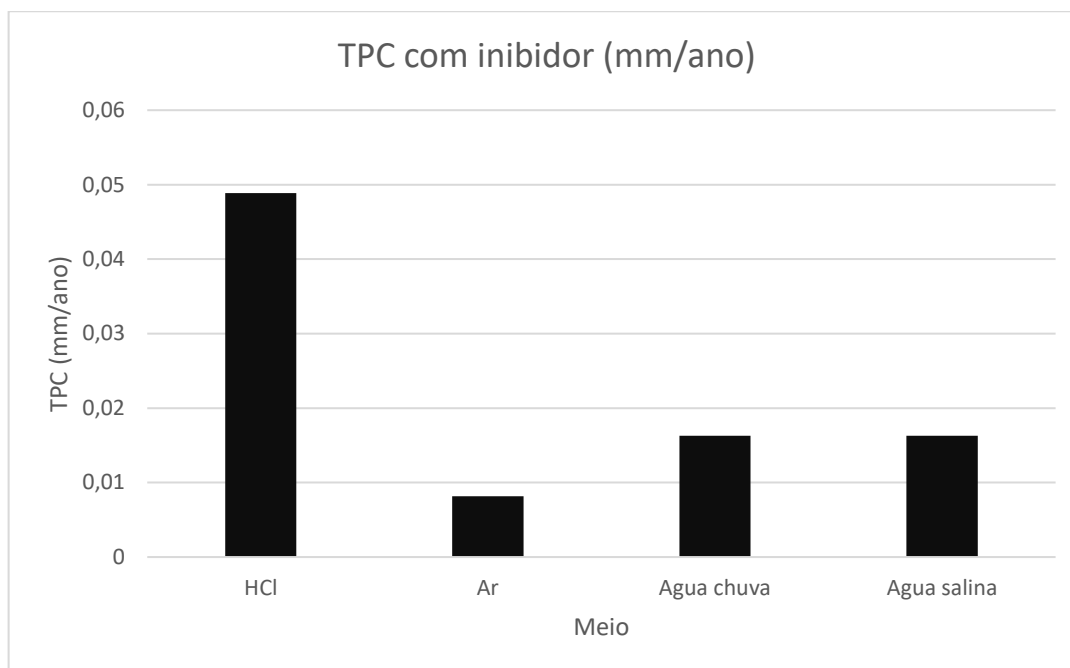
A determinação da taxa de corrosão obedeceu a classificação da norma NACE RP-07-75, conforme mostra a Tabela 1.

Figura 18: Comparativo das Taxas de Penetração da Corrosão em cada meio sem o inibidor.



Fonte: autor, 2022

Figura 19: Comparativo das Taxas de Penetração da Corrosão em cada meio com o inibidor.



Fonte: autor, 2022

Pode-se classificar que, de acordo com os dados obtidos nos experimentos, se confirma que a taxa de corrosão mais severa foi através do material exposto ao ácido clorídrico, uma vez que possui um alto índice de corrosividade, mas que, com o uso do inibidor, caiu para uma corrosão moderada, mostrando-se eficaz. A exposição a água da chuva mostrou-se alta, uma vez que é um líquido poluído e pode apresentar substâncias tóxicas como ácido sulfúrico, nítrico, bactérias, além de absorver a poeira e outros agentes quando está caindo, mas quando envolvida com o inibidor, teve uma corrosividade baixa. A água salina, apesar de conter NaCl, mostrou-se com índice alto de corrosividade e, com o inibidor, caiu para baixa. Em meio aerado, foi o processo de corrosão que se mostrou mais lento, com baixa corrosividade e permaneceu ainda menor com o inibidor.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho evidencia que o inibidor utilizado se mostrou bastante eficaz no quesito proteção e atua como ótimo agente anticorrosivo quando comparado ao mesmo meio sem o inibidor, para aço carbono em meio HCl 0,1%, água salina 1mol/L, água da chuva e ar. Dessa forma, é de grande importância a sua utilização nos elementos metálicos nas construções, como por exemplo na armadura do concreto armado, sendo notório que através das comparações das massas iniciais e finais, pode-se notar uma significativa conservação do material. O ambiente que se mostrou mais corrosivo foi em contato com o Ácido Clorídrico, onde houve perdas consideráveis da massa do material. A água salina e o meio aerado se mostrou menos corrosivo do que com a água da chuva. A sua duração dependerá de fatores como dosagem, condições da exposição do material e o seu estado de superfície. Logo, será necessário avaliar periodicamente a corrosão, a fim de observar quando será necessário a reaplicação do inibidor. Os resultados obtidos nesse trabalho foram satisfatórios e os objetivos foram alcançados. Para uma melhor análise, deve-se verificar quimicamente a estrutura dos materiais, bem como a utilização de um Microscópio de Varredura Eletrônica (MEV), para analisar toda a superfície do material e avaliar o grau do avanço corrosivo nas peças estudadas, em cada meio.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Neusvaldo Lira de; PANOSSIAN, Zehbour. **Corrosão atmosférica**: 17 anos. São Paulo : IPT, 1999. 130p.

ALVES, Lília. **Formação da Ferrugem**. Rio Grande do Sul, c2022. Disponível em: <<https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/formacao-ferrugem.htm>>. Acesso em: 15 maio 2022.

CHIAVERINI, V. Aço e ferros fundidos. 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1996.

DIAS, Diogo Lopes. **Podemos tomar água da chuva?**. [S. l.], c2022. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/agua-chuva-potavel.htm>>. Acesso em: 15 maio 2022.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 345 p.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022. 405 p. Disponível em: [https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521637998/epubcfi/6/10\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright\]/4/34/18/2/2](https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521637998/epubcfi/6/10[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright]/4/34/18/2/2). Acesso em: 15 maio 2022.

INIBIDOR. In: Significado de Inibidor. [S. l.], 2018. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/inibidor/>>. Acesso em: 5 out. 2021.

NACE RP 07-75: 2013 Preparation, installation, analyses, and interpretation of corrosion in oilfield operation, 2013. p.19.

PANONNI, Fabio Domingos. A DIFUSÃO DO OXIGÊNIO COMO FATOR LIMITANTE DA CORROSÃO DE ESTACAS METÁLICAS. **Artigo Técnico**, Rio Grande do Sul, ano 2009.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Aço**: Dimensionamento Prático. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022. 328 p. Disponível em: <[https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521637974/epubcfi/6/10\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright\]/4/2/7/139\[nte%2C%20fl\]](https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521637974/epubcfi/6/10[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright]/4/2/7/139[nte%2C%20fl])>. Acesso em: 13 maio 2022.

RIBEIRO, Daniel Veras *et al.* **Corrosão e Degradação de ESTRUTURAS DE CONCRETO**: Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 370 p. Disponível em: <[https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595152359/epubcfi/6/4\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcover\]/4/4/2\[cover01\]/2%4051:2](https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595152359/epubcfi/6/4[%3Bvnd.vst.idref%3Dcover]/4/4/2[cover01]/2%4051:2)>. Acesso em: 13 maio 2022.

SOARES, Arthur Pimentel Falcão; VASCONSELOS, Livia Tenório; NASCIMENTO, Felipe Bonfim Cavalcante do. CORROSÃO EM ARMADURAS DE CONCRETO. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 177–188, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/2651/1540>>. Acesso em: 5 out. 2021.

VIEIRA, Daniel Venâncio *et al.* Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado. **Revista Matéria**, Santa Catarina, v. 15, p. 431-444, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/8D5x6JL7RMdY6WS3hm4rq3p/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 5 out. 2021.