

Article

# Antioxidantes Naturais para o Desenvolvimento de Embalagens Recicláveis com Inibidores de Corrosão para Peças Metálicas

Muryllo Almeida da Silva<sup>1</sup>, Fabrício Bagli Siqueira<sup>2</sup>, Francisco de Assis Léo Machado<sup>3</sup>,  
Eduardo Shimoda<sup>4</sup>, Fabio Freitas da Silva<sup>5</sup>, Aldo Shimoya<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Candido Mendes. ORCID: 0009-0004-8522-4229. E-mail: murylloalmeida41@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais. Docente na Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes. ORCID: 0000-0002-8742-3115. E-mail: quimicabagli@gmail.com

<sup>3</sup> Doutor em Ciências Naturais. Docente na Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes. ORCID: 0000-0001-5845-0993. E-mail: franciscoleomachado@gmail.com

<sup>4</sup> Doutor em Produção Animal. Docente na Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes. ORCID: 0000-0001-6544-687X. E-mail: prof.shimoda@gmail.com

<sup>5</sup> Doutor em Planejamento Regional e Gestão da Cidade. Docente na Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes. ORCID: 0000-0002-3712-8265. E-mail: fabio1\_freitas@hotmail.com

<sup>6</sup> Doutor em Genética e Melhoramento. Docente na Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes. ORCID: 0000-0003-1098-9580. E-mail: aldoshimoya@yahoo.com.br

## RESUMO

Este estudo explora alternativas sustentáveis para a proteção de peças metálicas durante o transporte e armazenamento, com foco na redução do impacto ambiental gerado pelo uso de embalagens plásticas convencionais. O objetivo deste trabalho é desenvolver e avaliar embalagens recicláveis com adição de antioxidantes naturais para atuarem como inibidores de corrosão visando a proteção de peças metálicas contra a corrosão e a redução do impacto ambiental causado por embalagens convencionais. Avaliou-se a eficácia de antioxidantes naturais, extraídos das sementes de mamão (*Carica papaya* L.), como inibidores de corrosão em embalagens recicláveis. Testes de corrosão e eficiência de inibidores foram realizados em diferentes meios (ácido, neutro e alcalino), visando determinar a capacidade dessas embalagens de proteger as superfícies metálicas contra a degradação. Os resultados indicaram que os antioxidantes naturais presentes no extrato de sementes de mamão proporcionam uma proteção significativa, especialmente em ambientes ácidos, além de promoverem uma redução expressiva do impacto ambiental. Conclui-se que o uso de antioxidantes naturais em embalagens recicláveis apresenta-se como uma solução viável e promissora tanto para a proteção eficaz de metais quanto para a promoção de práticas industriais mais sustentáveis.

**Palavras-chave:** testes de corrosão, corrosão de metais, taxa de corrosão, eficiência de inibição.

## ABSTRACT

This study explores sustainable alternatives to protect metal parts during transportation and storage in an effort to reduce the environmental impact of conventional plastic packaging. The purpose of this work is to develop and evaluate recyclable packaging with the addition of natural antioxidants to act as corrosion inhibitors to protect metal parts from corrosion and mitigate the environmental impact of conventional packaging. The effectiveness of natural antioxidants extracted from papaya seeds (*Carica papaya* L.) as corrosion inhibitors in recyclable packaging was evaluated. Corrosion and inhibitor efficiency tests were performed in different media (acid, neutral, and alkaline) to determine the capacity of these packages to protect metal surfaces from degradation. The results indicated that the natural antioxidants in papaya seed extract provide significant protection, especially in acidic environments, in



Submissão: 02/10/2024



Aceite: 20/12/2024



Publicação: 18/02/2025



addition to substantially reducing environmental impact. It was concluded that using natural antioxidants in recyclable packaging is a viable and promising solution for the effective protection of metals and the promotion of more sustainable industrial practices.

**Keywords:** corrosion tests, metal corrosion, corrosion rate, inhibition efficiency.

## Introdução

O aço 1020 é um tipo de aço carbono com baixo teor de carbono, contendo aproximadamente 0,20% desse elemento em sua composição. Embora possua boas propriedades mecânicas que o tornam adequado para diversas aplicações, esse aço é suscetível à corrosão.

A corrosão é a degeneração de um material, geralmente metálico, que ocorre por meio de reações químicas ou eletroquímicas em resposta ao ambiente em que o material está submetido, e pode ser afetada por esforços. A inibição da corrosão de metais pode ser alcançada pela adição de inibidores ao sistema que impedem que a corrosão ocorra na superfície do metal (Kavitha et al., 2014). Os inibidores naturais se destacam como uma opção mais sustentável, pois oferecem proteção sem causar danos ao meio ambiente.

As embalagens para peças metálicas são importantes para proteger os materiais durante o transporte e armazenamento, além de garantir a sua integridade até o momento de uso. No entanto, muitas vezes essas embalagens são descartadas após o uso, gerando um grande impacto ambiental.

Uma alternativa para reduzir esse impacto é o uso de embalagens recicláveis. Além disso, é importante considerar a proteção contra a corrosão dessas peças metálicas, garantindo sua durabilidade e desempenho (Buchheit, 2018).

Nesse contexto, o estudo de antioxidantes naturais como inibidores de corrosão se torna relevante, visto que a utilização de compostos químicos pode gerar impactos ambientais significativos (Oghenerukevwe et al., 2023). O objetivo desse trabalho é avaliar a eficácia de antioxidantes naturais como inibidores de corrosão em embalagens recicláveis para peças metálicas, visando uma alternativa mais sustentável e segura para a proteção desses materiais.

Para isso, serão realizados testes de corrosão em cupons de corrosão envoltos em embalagens recicláveis com antioxidantes naturais. Serão avaliados aspectos como a taxa de corrosão, a resistência à corrosão e a viabilidade da embalagem reciclável como uma alternativa mais sustentável para proteção de peças metálicas.

## Revisão Bibliográfica

Os aços estão conquistando cada vez mais espaço no setor de engenharia devido à sua ampla gama de aplicações e à possibilidade de trabalhar com eles a um baixo custo. Além disso, continuam sendo objeto de pesquisa para que suas propriedades sejam maximizadas, que possibilite melhores resultados em serviço (Silva & Mei, 2021).

O sistema de classificação de aços adotado pela *Society of Automotive Engineers* (SAE), utiliza designações numéricas que facilitam a identificação e classificação dos diversos tipos de aço.

O aço 1020 é um aço carbono de baixo teor de carbono, ou seja, possui cerca de 0,20% de carbono em sua composição. É um aço de boa usinabilidade e soldabilidade, além de ser bastante maleável de acordo com a Sociedade Americana de Metais (ASM).

Suas propriedades mecânicas incluem um limite de resistência média de 42 a 55 kg/mm<sup>2</sup> no estado normalizado, sendo utilizado em diversas aplicações na indústria mecânica, como na fabricação de peças rosqueadas, barras laminadas e perfiladas, entre outras (Callister & Rethwisch, 2018).



Devido à sua boa combinação de propriedades mecânicas e facilidade de processamento, o aço 1020 é um dos aços mais utilizados na indústria mecânica, sendo empregado em diversas aplicações, desde a fabricação de peças simples até componentes mais complexos e exigentes em termos de desempenho.

A corrosão é a degeneração de um material, geralmente metálico, que ocorre por meio de reações químicas ou eletroquímicas em resposta ao ambiente em que o material está submetido, e pode ser afetada por esforços. A deterioração causada pela interação físico-química do material com o meio pode provocar alterações indesejáveis no material, tais como desgaste, variações químicas ou mudanças estruturais, tornando-o impróprio para o uso (Nwigwe et al., 2019).

A corrosão pode ter impactos significativos em diversos setores, como a indústria naval, petróleo e gás, automotivo, construção civil, entre outros. Além dos prejuízos financeiros, a corrosão também pode ter consequências em termos de segurança, uma vez que a deterioração de materiais pode levar a falhas estruturais (Kavitha et al., 2014).

A corrosão eletroquímica é um dos tipos mais frequentes de corrosão, originado por reações químicas e eletroquímicas entre o metal, o eletrólito e o oxigênio. Esse processo envolve a transferência de elétrons entre os átomos do metal e do eletrólito, o que leva a uma dissolução gradual do metal e à formação de compostos de corrosão (Roberge, 2008).

A corrosão química é um processo de degradação de materiais causado por reações químicas entre o material e o ambiente em que está exposto. Diferentemente da corrosão eletroquímica, que envolve transferência de elétrons, a corrosão química ocorre quando o material é exposto a ácidos, bases, soluções salinas ou outros compostos químicos corrosivos (Callister & Rethwisch, 2018).

A utilização de cupons de corrosão é uma técnica amplamente empregada na avaliação de materiais e técnicas de proteção contra a corrosão. Esses cupons consistem em amostras de metal que são expostas a um meio corrosivo durante um período de tempo determinado, permitindo a avaliação da taxa de corrosão e do comportamento do material em condições específicas (Gentil, 2022).

Os inibidores de corrosão são substâncias que, quando adicionadas a um meio corrosivo, são capazes de diminuir ou até mesmo inibir a corrosão em um material exposto a esse meio. Essas substâncias agem de diversas maneiras, como formando uma camada protetora na superfície do metal, adsorvendo-se na superfície do metal e reduzindo a taxa de corrosão ou ainda bloqueando a reação eletroquímica que ocorre durante o processo de corrosão (Poongothai et al., 2018).

Os inibidores de corrosão são escolhidos de acordo com as condições específicas do meio corrosivo e do material a ser protegido. Alguns exemplos de inibidores de corrosão são sais de zinco, fosfatos, nitritos, aminas, silicatos, compostos orgânicos, entre outros (Oghenerukevwe et al., 2023).

Existem diversos tipos de inibidores de corrosão disponíveis no mercado, com diferentes mecanismos de ação e aplicações específicas. Alguns dos principais tipos são: Inibidores de corrosão anódicos, catódicos, filme passivo, volatilização e adsorção (Al-Otaibi et al., 2014).

Os inibidores catódicos trabalham estimulando reações eletroquímicas que reduzem a corrosão na superfície do metal. Eles são frequentemente utilizados em ambientes com pH alcalino, onde a corrosão é mais intensa (Buchheit, 2018).

Os inibidores de adsorção atuam como películas de proteção. Certos elementos têm a capacidade de criar revestimentos nas áreas anódicas e catódicas, interferindo no processo eletroquímico. Essa categoria inclui substâncias orgânicas com grupos altamente polares, levando à formação de revestimentos por meio de adsorção (Oghenerukevwe et al., 2023).

A maioria dos inibidores utilizados na indústria consiste em compostos orgânicos que contêm átomos de nitrogênio, oxigênio e enxofre. Esses inibidores têm a capacidade de formar ligações com a superfície metálica, por meio do par de elétrons dos átomos doadores, reduzindo, assim, o processo corrosivo em ambientes ácidos. A força da adsorção desses inibidores depende da densidade eletrônica presente no átomo doador do grupo funcional, bem como da polarizabilidade do grupo em questão. Embora muitos desses compostos apresentem alta eficiência como inibidores de corrosão, também é importante considerar os efeitos indesejáveis que alguns deles podem causar, mesmo em baixas concentrações, devido à sua toxicidade e aos custos elevados associados (Nwigwe et al., 2019).

Os inibidores de corrosão naturais são compostos químicos presentes em alguns materiais de origem vegetal ou animal que possuem a capacidade de inibir a corrosão de metais. Eles podem ser encontrados em plantas, frutas, legumes, sementes, raízes, folhas, cascas, entre outros materiais (Loto, 2012).

Alguns exemplos de inibidores de corrosão naturais são o ácido tânico, presente em cascas de árvores como o carvalho e o pinheiro, o ácido ascórbico, presente em frutas como a laranja e o limão, e a alcaidina, presente em sementes como a do mamão (Verma et al., 2021).

Cada vez mais estamos em busca de substâncias de baixo custo e ambientalmente corretas, como inibidores de corrosão. Esses inibidores são frequentemente encontrados em extratos de plantas, que são economicamente viáveis e podem ser obtidos por meio de processos de extração simples. Esse enfoque tem sido amplamente explorado devido à disponibilidade e custo reduzido desses extratos, além de suas propriedades inibidoras efetivas contra a corrosão. Essa abordagem representa uma alternativa promissora e sustentável para o desenvolvimento de inibidores de corrosão (Buchheit, 2018).

O mamão é amplamente consumido em sua forma natural, mas também possui diversos usos como produto processado. A industrialização do fruto maduro envolve principalmente a conservação da polpa. No entanto, as sementes do mamão geralmente são descartadas e não são aproveitadas para fins industriais (Nwigwe et al., 2019).

A ação inibidora de diferentes componentes do mamão *Carica papaya* L. (folhas, sementes, interior e cascas) na corrosão do aço carbono em uma solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  com concentração de 1 mol/L foi examinada por um estudo realizado por Okafor et al. (2007), por meio de testes gravimétricos. Observou-se que a eficiência do inibidor aumentou com o aumento da concentração dos extratos, mas diminuiu com o aumento da temperatura. Como mecanismo de inibição, sugere-se que os componentes fitoquímicos dos extratos se adsorvam fisicamente na superfície metálica. Os resultados obtidos demonstraram que os extratos de folhas, sementes, interiores e cascas mostraram uma eficácia notável na prevenção da corrosão de metais avaliados. Além disso, observaram que os extratos podem atuar como um inibidor de natureza mista, exibindo propriedades tanto de inibição anódica quanto de inibição catódica (Kavitha et al., 2014; Poongothai et al., 2018; Nwigwe et al., 2019; Oghenerukevwe et al., 2023).

A eficácia da semente de mamão como inibidor de corrosão do aço SAE 1020 em soluções ácidas tem sido objeto de diversos estudos e pesquisas. A investigação incluiu experimentos em laboratório, com diferentes concentrações da solução corrosiva e do extrato da semente de mamão. Este estudo sugere que a semente de mamão pode ser uma alternativa viável aos inibidores de corrosão sintéticos, uma vez que é uma fonte natural e de baixo custo de compostos antioxidantes e inibidores de corrosão. Como resultado, a semente de mamão pode ser uma opção interessante para a indústria mecânica em busca de soluções mais sustentáveis e economicamente viáveis (Torres et al., 2016).



As embalagens recicláveis com inibidores de corrosão representam uma alternativa promissora para a indústria de embalagens, uma vez que oferecem a possibilidade de prolongar a vida útil dos produtos e aumentar a sua sustentabilidade. Os inibidores de corrosão são compostos químicos que podem reduzir ou eliminar a corrosão de metais, incluindo os utilizados em embalagens (Reis & Alves, 2007).

O ensaio de corrosão é um procedimento que consiste em expor uma amostra de metal a um meio corrosivo controlado, com a finalidade de avaliar sua resistência à corrosão. Existem diferentes métodos de ensaio de corrosão, cada um com suas vantagens e desvantagens, e a escolha do método a ser utilizado depende do tipo de material, da aplicação e das condições de corrosão (Buchheit, 2018).

O ensaio de imersão é um método de avaliação da resistência à corrosão de materiais metálicos, que consiste em submergir as amostras de metal em um meio corrosivo por um período de tempo determinado para avaliar a perda de massa da amostra (Al-Otaibi et al., 2014).

O ensaio de corrosão por névoa salina é um método amplamente utilizado para avaliar a resistência à corrosão de materiais metálicos em condições aceleradas de corrosão (ABNT NBR 17088, 2023).

O ensaio eletroquímico é uma técnica amplamente utilizada para avaliar a resistência à corrosão de materiais metálicos, sendo baseado na medição das correntes elétricas geradas pela reação de oxidação e redução na superfície do metal durante a corrosão (Buchheit, 2018).

Existem diversos tipos de ensaios eletroquímicos, como o ensaio de polarização potenciodinâmica, o ensaio de polarização linear, e o ensaio de impedância eletroquímica, entre outros. Esses ensaios fornecem informações importantes sobre a taxa de corrosão, resistência à corrosão, eficácia de inibidores de corrosão e técnicas de proteção contra corrosão, entre outros parâmetros (Loto, 2012).

## **Materiais e Métodos**

No intuito de eliminar a camada gelatinosa que envolve as sementes, conhecida como sarcotesta, procedeu-se à fricção das sementes contra uma peneira, utilizando uma colher como auxílio. O atrito entre as sementes e a peneira possibilitou a completa remoção da sarcotesta.

As sementes, então, foram submetidas a uma lavagem minuciosa em água corrente. Após esse procedimento, foram dispostas para secar à temperatura ambiente, resguardadas da exposição direta à luz solar, ao longo de aproximadamente sete dias, conforme representado na Figura 1A.

Uma vez que as sementes estavam completamente secas (Figura 1B), procedeu-se à trituração por meio de um processador da marca Mallory 520W. Esse processo visou reduzir o tamanho das sementes, ampliando assim a área de contato com a embalagem em desenvolvimento.

Para a produção da embalagem, foram utilizados aproximadamente 50 gramas de papel (que seriam descartados). Para a medição da massa foi utilizada uma balança da marca Bel ( $\pm 0,01$  g). As folhas foram rasgadas e adicionadas a um litro de água destilada, ficando em repouso na água por aproximadamente uma hora, em seguida, triturada em um processador da marca Mallory 520W limpo e adicionadas 20 gramas da semente de mamão triturada.

A mistura resultante foi transferida para um recipiente maior, ao qual foram adicionados cinco litros de água destilada e submetidos à homogeneização. Em seguida, uma peneira quadrada, equipada com um elemento filtrante de tecido de algodão, foi introduzida dentro do recipiente que continha a mistura, com o propósito de capturar as partículas sólidas suspensas na solução. A peneira, que apresenta dimensões de 297 mm de largura por 310 mm de comprimento, contendo o papel, foi deixada em repouso por um dia para assegurar a completa secagem do papel, conforme exemplificado na Figura 2.

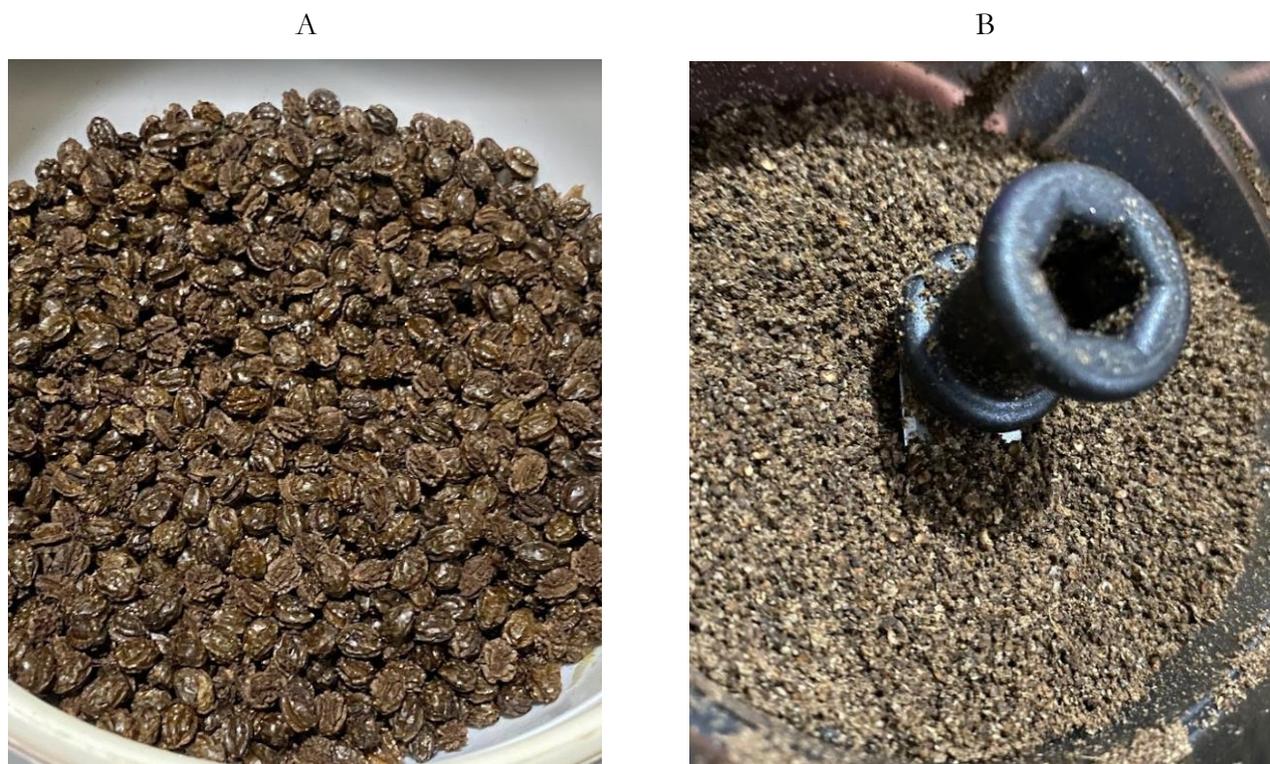


Figura 1. Secagem das sementes do mamão (A); Sementes do mamão trituradas (B). Fonte: dados da pesquisa



Figura 2. Produção da embalagem. Fonte: dados da pesquisa

Completada a secagem, o papel, já isento de umidade, foi removido cuidadosamente da peneira e armazenado para uso posterior.

Os cupons de corrosão empregados nesta pesquisa consistem em arruelas M10 de aço carbono SAE 1020, caracterizadas por dimensões específicas. As medições foram feitas utilizando um paquímetro da marca



Mitutoyo (200 mm). Estas arruelas apresentam um diâmetro interno de 10,50 mm, diâmetro externo de 20,00 mm e espessura de 1,80 mm.

A fim de aprimorar a visualização do material do cupom de corrosão, antes de sua exposição ao meio corrosivo, optou-se por realizar o polimento em uma das amostras. Para refinar o processo de lixamento, foi empregada a lixadeira e politriz da marca Arotec.

Foi utilizado um microscópio marca Olympus BX51M com o objetivo de uma visualização mais detalhada da estrutura do cupom de corrosão.

Para a realização da análise de corrosão, foram preparadas três soluções, cada uma com uma concentração de 1 mol.L<sup>-1</sup>. No meio ácido, optou-se por utilizar uma solução de ácido clorídrico (HCl). No meio neutro, foi empregado o cloreto de sódio (NaCl), enquanto no meio alcalino, a escolha foi pelo hidróxido de sódio (NaOH).

Neste estudo, foi empregado um cupom de corrosão para cada meio corrosivo. Um dos cupons de corrosão foi protegido por uma embalagem inibidora, outro foi protegido por uma embalagem de papel convencional, e o terceiro ficou totalmente desprotegido.

O ensaio de perda de massa foi conduzido com a finalidade de determinar a taxa de corrosão e avaliar a eficiência do extrato em contato com as superfícies metálicas, em uma faixa de temperatura variando de 25°C a 35°C.

Para esses ensaios, foram preparados 75 mL de cada solução, adicionados a um Becker de 250 mL. Os cupons de corrosão foram suspensos dentro do Becker. Após o condicionamento das amostras no recipiente, este foi vedado com filme plástico, criando uma atmosfera corrosiva controlada.

Essas condições experimentais possibilitaram avaliar a capacidade de inibição de corrosão da embalagem de papel reciclável, comparando os resultados entre os cupons envoltos na embalagem de papel convencional e os cupons desprotegidos. A avaliação da corrosão foi realizada em períodos de 7, 14 e 21 dias.

Na Tabela 1, consta a forma como foram identificados os cupons de corrosão.

Tabela 1 - Identificação dos cupons de corrosão

7 dias			14 dias			21 dias		
AI-1	AS-1	AP-1	AI-2	AS-2	AP-2	AI-3	AS-3	AP-3
NI-1	NS-1	NP-1	NI-2	NS-2	NP-2	NI-3	NS-3	NP-3
BI-1	BS-1	BP-1	BI-2	BS-2	BP-2	BI-3	BS-3	BP-3

AI - Os cupons expostos ao meio ácido, com as embalagens inibidoras; AS - Os cupons expostos ao meio ácido, sem as embalagens inibidoras; AP - Os cupons expostos ao meio ácido, com embalagens de papel convencional; NI - Os cupons expostos ao meio neutro, com as embalagens inibidoras; NS - Os cupons expostos ao meio neutro, sem as embalagens inibidoras; NP - Os cupons expostos ao meio neutro, com embalagens de papel convencional; BI - Os cupons expostos ao meio básico, com as embalagens inibidoras; BS - Os cupons expostos ao meio básico, sem as embalagens inibidoras; BP - Os cupons expostos ao meio básico, com embalagens de papel convencional. Fonte: dados da pesquisa

Os cupons de corrosão foram submetidos à pesagem na balança da marca Bel de precisão ( $\pm 0,01$  g), a fim de determinar a massa inicial antes do ensaio. Logo em seguida, os cupons de corrosão seguiram para a exposição em seu determinado meio até o período de avaliação.

As análises dos cupons ocorreram em um período de 7, 14, 21 dias, sendo que as análises dos cupons de corrosão envoltos em papel convencional apresentaram alto índice de corrosão logo nas primeiras análises, com isso as análises desse meio se encerraram em 7 dias, por não apresentarem resultados positivos. Devido à eficácia limitada na perda de massa durante esse período de tempo, optamos por estender o tempo de análise



de um dos cupons de corrosão por mais 49 dias. Essa extensão foi realizada com o intuito de observar uma possível longevidade significativa do inibidor.

O cálculo de taxa de corrosão foi baseado na norma ASTM G31-72 (2004) (Equação 1).

$$TC = \frac{K \cdot W}{A \cdot t \cdot \rho} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

TC - Taxa de corrosão (mm/ano);

K - Constante de corrosão de  $8,76 \cdot 10^4$  (mm/ano);

W - Perda de massa (gramas);

A - Área exposta (cm<sup>2</sup>);

t - Tempo de exposição (horas);

$\rho$  - Massa específica do material (g/cm<sup>3</sup>), o aço tem massa específica de 7,86 g.cm<sup>3</sup>.

Para verificar em qual categoria de classificação os resultados das taxas de corrosão se enquadram, foi utilizada a tabela de classificação da taxa de corrosão, conforme estabelecido pela norma NACE RP0775 (2005). A Tabela 2 fornece uma referência para interpretar os resultados obtidos neste estudo.

Tabela 2 - Classificação da taxa de corrosão

Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Taxa pite (mm/ano)	Corrosividade
< 0,025	< 0,13	Baixa
0,025 a 0,120	0,130 a 0,200	Moderada
0,130 a 0,250	0,210 a 0,380	Alta
> 0,250	> 0,380	Severa

Fonte: dados da pesquisa

A eficiência de inibição a corrosão foi calculada com base na Equação 2 (GENTIL, 2022).

$$Ef = \frac{T_s - T_c}{T_s} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Ef - Eficiência de inibição em %;

T<sub>s</sub> - Taxa de corrosão sem o inibidor;

T<sub>c</sub> - Taxa de corrosão com extrato.

No âmbito desta pesquisa, a determinação da eficiência de inibição à corrosão constitui um elemento crucial para avaliar o desempenho das embalagens com inibidores de corrosão. O método adotado para esse cálculo baseou-se na Equação 2, conforme proposta por Gentil (2022). Essa equação proporciona uma abordagem quantitativa para mensurar a capacidade do inibidor em mitigar os efeitos corrosivos, oferecendo uma base sólida para a análise dos resultados obtidos durante o curso deste estudo.



## Resultados e Discussões

Este capítulo visa realizar a avaliação da corrosão dos cupons previamente mencionados, durante o respectivo período de análise. O propósito central é verificar a eficácia do inibidor de corrosão presente na embalagem desenvolvida ao longo deste trabalho. Essa avaliação abrange a análise da perda de massa dos cupons expostos aos diferentes meios corrosivos, proporcionando uma compreensão mais aprofundada sobre a capacidade de proteção conferida pela embalagem. O exame dos resultados obtidos permitiu inferir conclusões sobre a eficácia do inibidor em ambientes ácidos, neutros e alcalinos, contribuindo para a validação da proposta desenvolvida neste estudo.

Na Tabela 3 estão as dimensões das arruelas utilizadas como cupons de corrosão.

Tabela 3 - Dimensões das arruelas

Diâmetro Nominal	d 1 (diâmetro interno)		d 2 (diâmetro externo)		h (espessura)	
	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
M 6	6,40	6,62	11,57	16,00	1,40	1,80
M 8	8,40	8,62	15,57	16,00	1,40	1,80
M 10	10,50	10,77	19,48	20,00	1,80	2,20
M 12	13,00	13,27	23,48	24,00	2,30	2,70
M 14	15,00	15,27	27,48	28,00	2,30	2,70
M 16	17,00	17,27	29,48	30,00	2,70	3,30
M 18	19,00	19,27	33,48	34,00	2,70	3,30
M 20	21,00	21,33	36,38	37,00	2,70	3,30

Fonte: EN ISO 7089 (2000).

Na Figura 3, é possível visualizar uma imagem ampliada em 50X do material de aço carbono SAE1020, empregado como cupom de corrosão neste estudo.



Figura 3. Imagem macro e micro 50X do cupom de corrosão. Fonte: dados da pesquisa



## Avaliação dos cupons de corrosão expostos por sete dias

### *Cupons de corrosão expostos em meio ácido*

Cupom de corrosão AS-1, exposto ao meio ácido sem nenhuma proteção (Figura 4 A e B), cupom de corrosão AP-1, exposto ao meio ácido com proteção do papel convencional (Figura 4 C e D) e cupom de corrosão AI-1, exposto ao meio ácido com proteção da embalagem com inibidor natural desenvolvida neste trabalho (Figura 4 E e F).

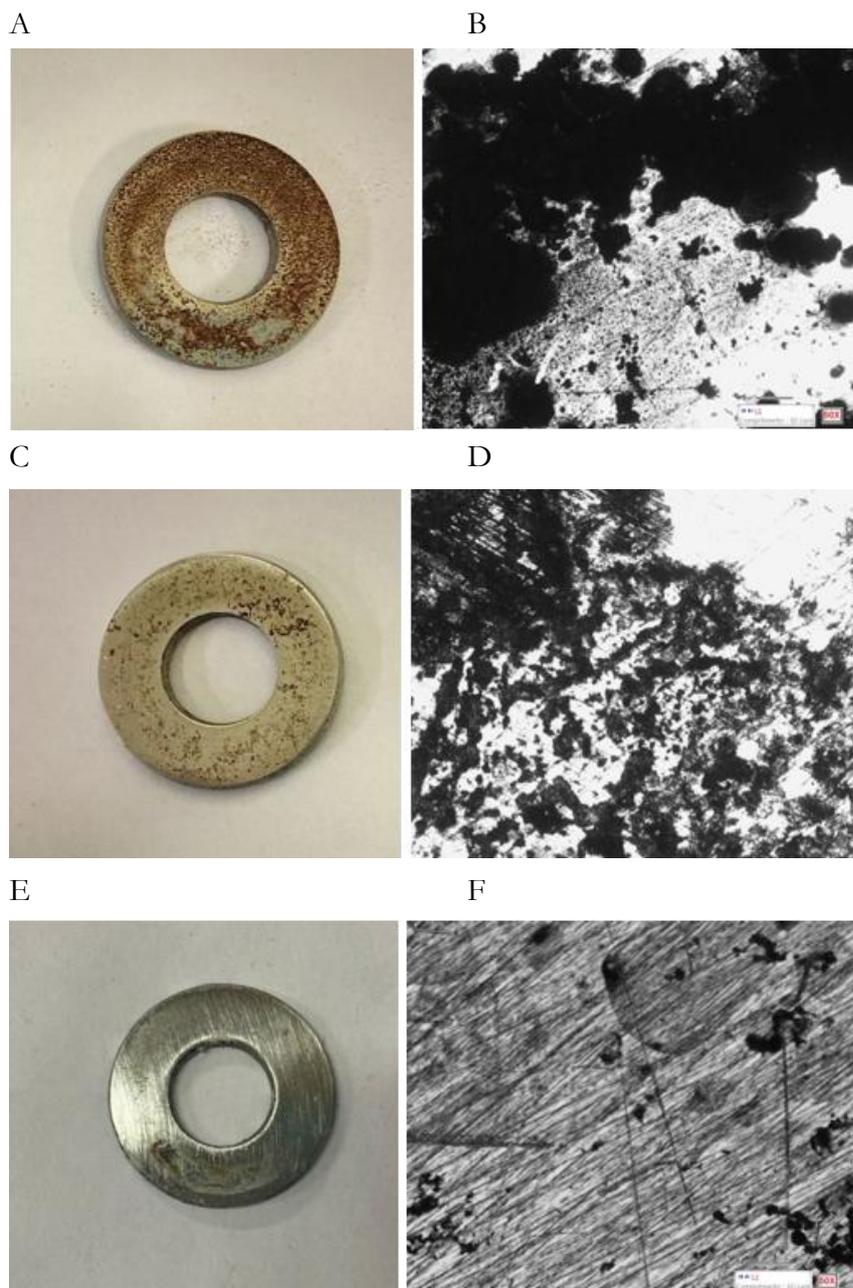


Figura 4. Imagem macro (A) e micro 50X (B) do cupom de corrosão AS-1, imagem macro (C) e micro 50X (D) do cupom de corrosão AP-1 e imagem macro (E) e micro 50X (F) do cupom de corrosão AI-1. Fonte: dados da pesquisa



Encontra-se na Tabela 4 a variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão submetidos ao meio ácido.

Tabela 4. Variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão em meio ácido

Tempo de avaliação	TAG	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Variação de massa (g)	Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade
1º Semana – Ácido	AS-1	5,09	5,08	0,01	0,25	Severa
	AI-1	5,15	5,14	0,01	0,25	Severa
	AP-1	5,12	5,11	0,01	0,25	Severa

Fonte: dados da pesquisa

Nota-se que, apesar da perda de massa do cupom de corrosão ter sido reduzida, os resultados obtidos são significativos, considerando, especialmente, o curto período de exposição. Isso reflete um nível de corrosividade substancial em todos os corpos de prova analisados. Os cupons envoltos na embalagem contendo o inibidor de corrosão apresentaram uma menor incidência de pontos de oxidação, tanto nas imagens macro quanto nas microscópicas. Esse aspecto visual reforça a eficácia do inibidor em mitigar os efeitos corrosivos, destacando a promissora capacidade protetiva da embalagem desenvolvida neste estudo.

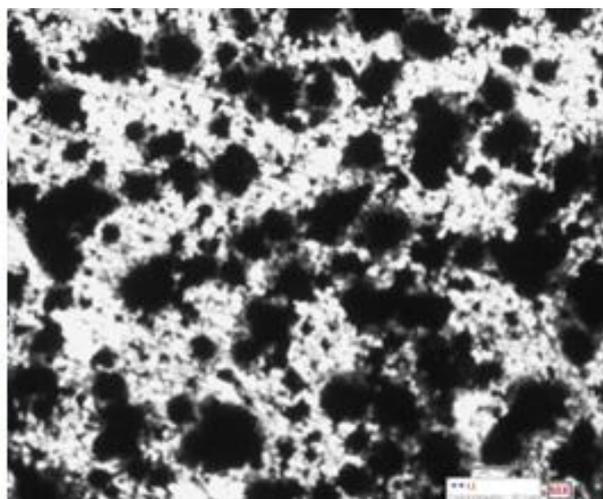
#### *Cupons de corrosão expostos em meio neutro*

Cupom de corrosão NS-1, exposto ao meio neutro sem nenhuma proteção (Figura 5 A e B), cupom de corrosão NP-1, exposto ao meio neutro com proteção do papel convencional (Figura 5 C e E) e cupom de corrosão NI-1, exposto ao meio neutro com proteção da embalagem com inibidor natural desenvolvida neste trabalho (Figura 5 E e F).

A



B



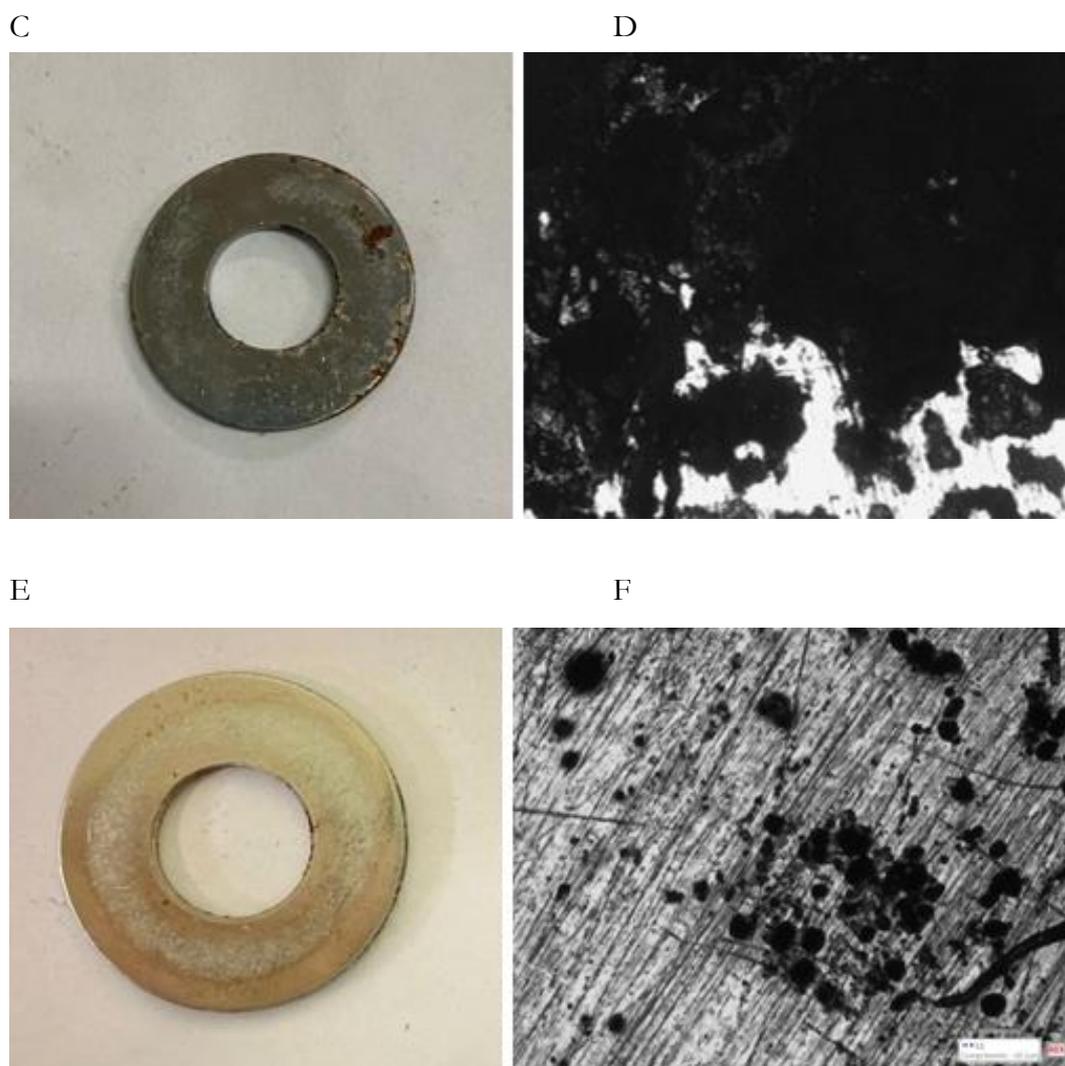


Figura 5 Imagem macro (A) e micro 50X (B) do cupom de corrosão NS-1, imagem macro (C) e micro 50X (D) do cupom de corrosão NP-1 e imagem macro (E) e micro 50X (F) do cupom de corrosão NI-1. Fonte: dados da pesquisa.

A Tabela 5 contém a variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão submetidos ao meio neutro.

Tabela 5. Variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão em meio neutro

Tempo de avaliação	TAG	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Varição de massa (g)	Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade
1º Semana – Neutro	NS-1	4,54	4,54	0,00	0,00	Baixa
	NI-1	5,07	5,07	0,00	0,00	Baixa
	NP-1	4,53	4,51	0,02	0,50	Severa

Fonte: dados da pesquisa.

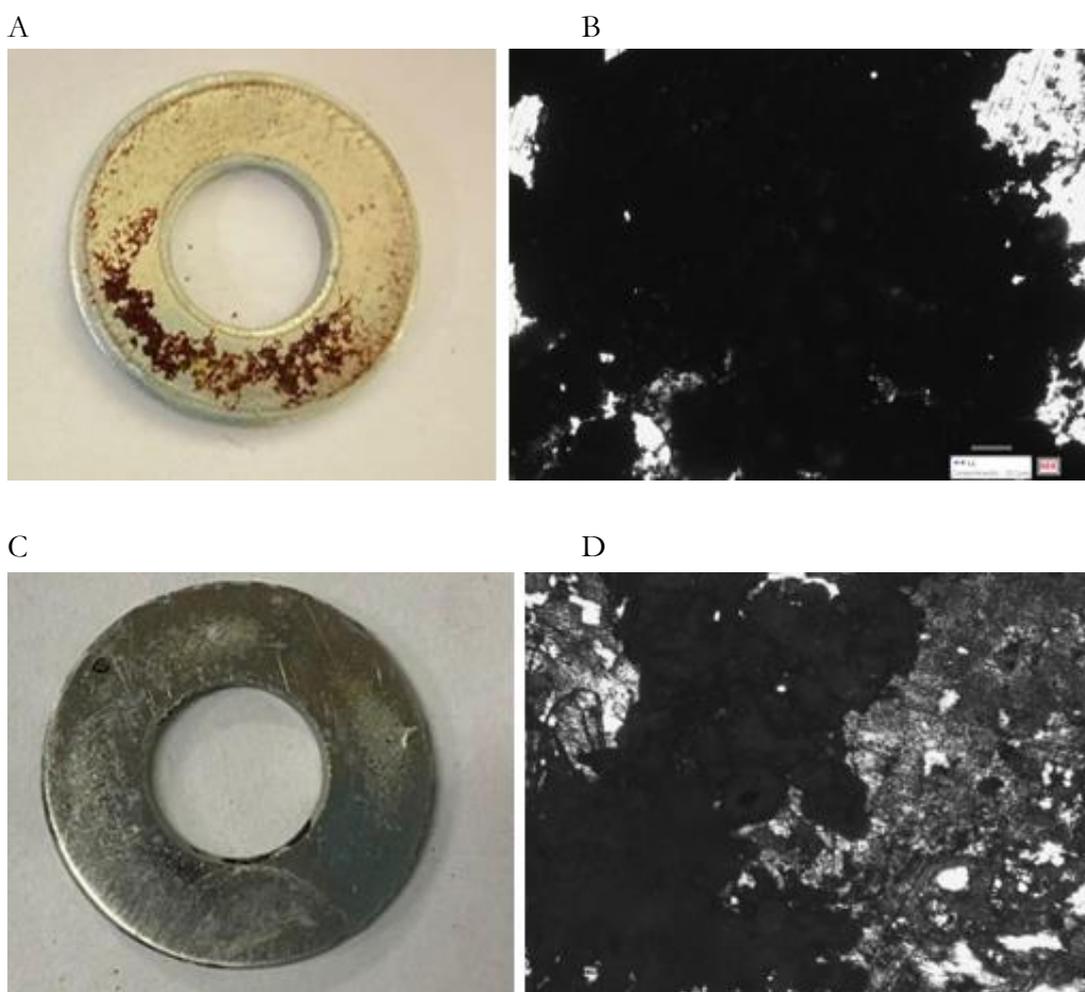
Neste cenário, observa-se que a única variação de massa ocorreu na embalagem de papel convencional, evidenciando uma perda de massa. É importante ressaltar que esse resultado foi relevante, considerando o breve período de exposição e a área limitada do cupom de corrosão exposto. Esta constatação indica que a embalagem de papel convencional não demonstrou impacto positivo na redução da oxidação de peças metálicas. Em



contraste, tanto a peça desprotegida quanto aquela envolvida com a embalagem contendo o inibidor não apresentaram perda de massa. No entanto, ao realizar uma avaliação visual, torna-se evidente uma diferença notável entre os cupons. Os cupons envoltos na embalagem contendo o inibidor de corrosão apresentaram uma menor incidência de pontos de oxidação, tanto nas imagens macro quanto nas microscópicas. Esse aspecto visual reforça a eficácia do inibidor em mitigar os efeitos corrosivos, destacando a promissora capacidade protetiva da embalagem desenvolvida neste estudo.

### ***Cupons de corrosão expostos em meio básico***

Cupom de corrosão BS-1, exposto ao meio básico sem nenhuma proteção, (Figura 6 A e B), cupom de corrosão BP-1, exposto ao meio básico com proteção do papel convencional (Figura 6 C e D) e cupom de corrosão BI-1, exposto ao meio básico com proteção da embalagem com inibidor natural desenvolvida neste trabalho (Figura 6 E e F).



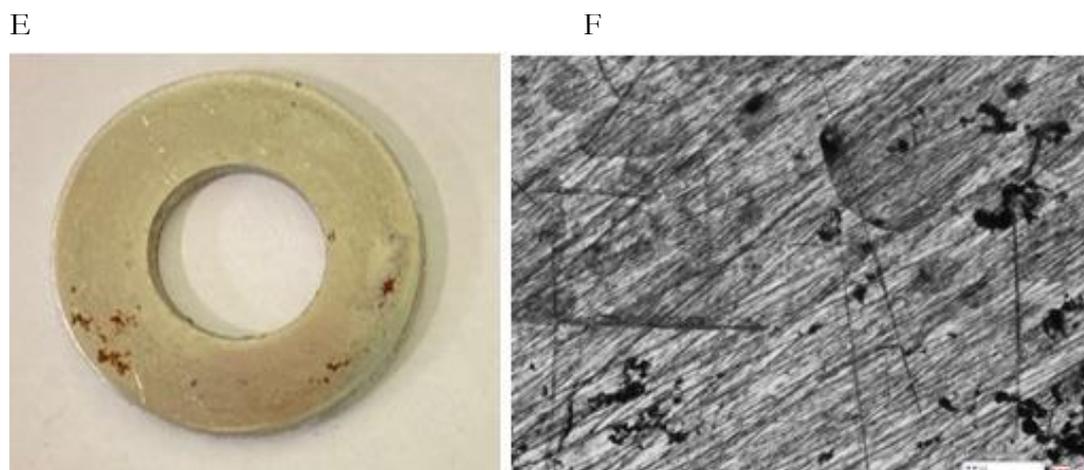


Figura 6 – Imagem macro (A) e micro 50X (B) do cupom de corrosão BS-1, imagem macro (C) e micro 50X (D) do cupom de corrosão BP-1 e imagem macro (E) e micro 50X (F) do cupom de corrosão BI-1. Fonte: dados da pesquisa.

Pode-se observar na Tabela 6, a variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão submetidos ao meio básico.

**Tabela 6** – Variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão em meio básico

Tempo de avaliação	TAG	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Varição de massa (g)	Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade
1º Semana - Básico	BS-1	5,12	5,11	0,01	0,25	Severa
	BI-1	5,09	5,09	0,00	0,00	Baixa
	BP-1	4,58	4,56	0,02	0,50	Severa

Fonte: dados da pesquisa.

Observa-se que a perda de massa ocorreu em todos os cupons de corrosão, exceto naquele que estava envolto na embalagem com inibidor. Nesse caso, pode-se considerar efetiva a proteção conferida pela embalagem com inibidor de corrosão. Uma análise visual reforça essa conclusão, revelando uma diferença notável entre os cupons. Os cupons envolvidos na embalagem com o inibidor apresentaram uma menor incidência de pontos de oxidação, tanto em imagens macro quanto em microscópicas. Esse resultado visual destaca a eficácia do inibidor em reduzir a corrosão, validando a promissora capacidade protetiva da embalagem desenvolvida neste estudo.

### Avaliação dos cupons de corrosão expostos por quatorze dias

#### *Cupons de corrosão expostos em meio ácido*

Cupom de corrosão AS-2, exposto ao meio ácido sem nenhuma proteção (Figura 7 A e B), cupom de corrosão AP-2, exposto ao meio ácido com proteção do papel convencional (Figura 7 C e D) e cupom de corrosão AI-2, exposto ao meio ácido com proteção da embalagem com inibidor natural desenvolvida neste trabalho (Figura 7 E e F).

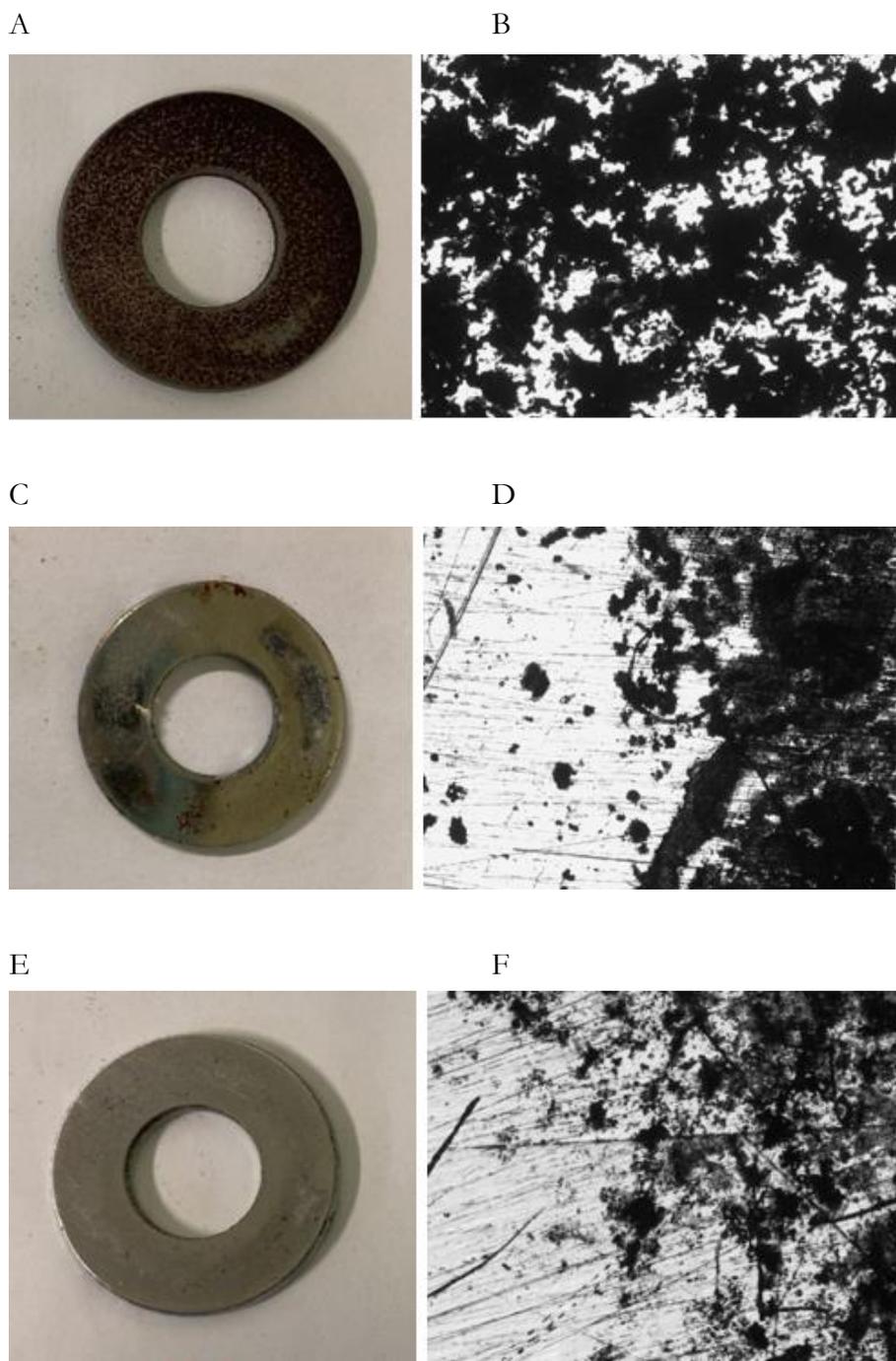


Figura 7. Imagem macro (A) e micro 50X (B) do cupom de corrosão AS-2, imagem macro (C) e micro 50X (D) do cupom de corrosão AP-2 e imagem macro (E) e micro 50X (F) do cupom de corrosão Al-2. Fonte: dados da pesquisa.

Na Tabela 7, encontra-se a variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão submetidos ao meio ácido.



Tabela 7. Variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão em meio ácido

Tempo de avaliação	TAG	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Variação de massa (g)	Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade
2° Semana - Ácido	AS-2	5,13	5,13	0,00	0,00	Baixa
	AI-2	5,14	5,13	0,01	0,13	Alta
	AP-2	5,12	5,11	0,01	0,13	Alta

Fonte: dados da pesquisa.

O cupom de corrosão exposto ao meio ácido, sem qualquer tipo de proteção, não apresentou uma perda de massa considerável, ao contrário dos dois outros cupons, envolvidos nas embalagens de papel convencional e de papel com inibidor de corrosão. Apesar de haver uma perda de massa no cupom envolto da embalagem com inibidor, a análise visual em macro e microscopia revelou uma quantidade menor de pontos de oxidação em comparação com os outros dois cupons. Esse resultado visual sugere que, mesmo com a perda de massa, a embalagem com inibidor demonstra uma eficácia superior na proteção contra a corrosão quando exposta ao meio ácido, destacando sua capacidade de minimizar os efeitos adversos desse ambiente corrosivo.

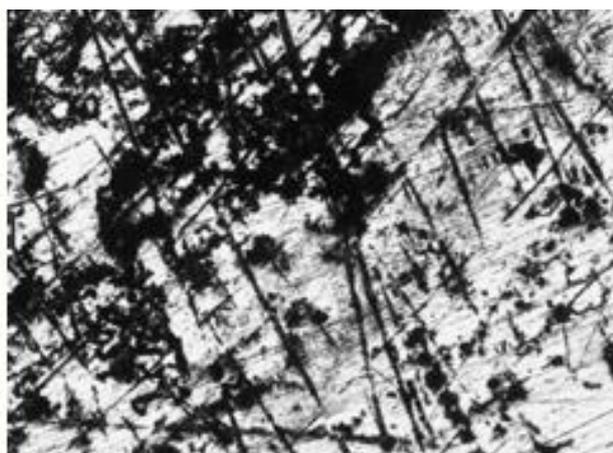
#### ***Cupons de corrosão expostos em meio neutro***

Cupom de corrosão NS-2, exposto ao meio neutro sem nenhuma proteção, (Figura 8 A e B), cupom de corrosão NP-2, exposto ao meio neutro com proteção do papel convencional (Figura 8 C e D) e cupom de corrosão NI-2, exposto ao meio neutro com proteção da embalagem com inibidor natural desenvolvida neste trabalho (Figura 8 E e F).

A



B



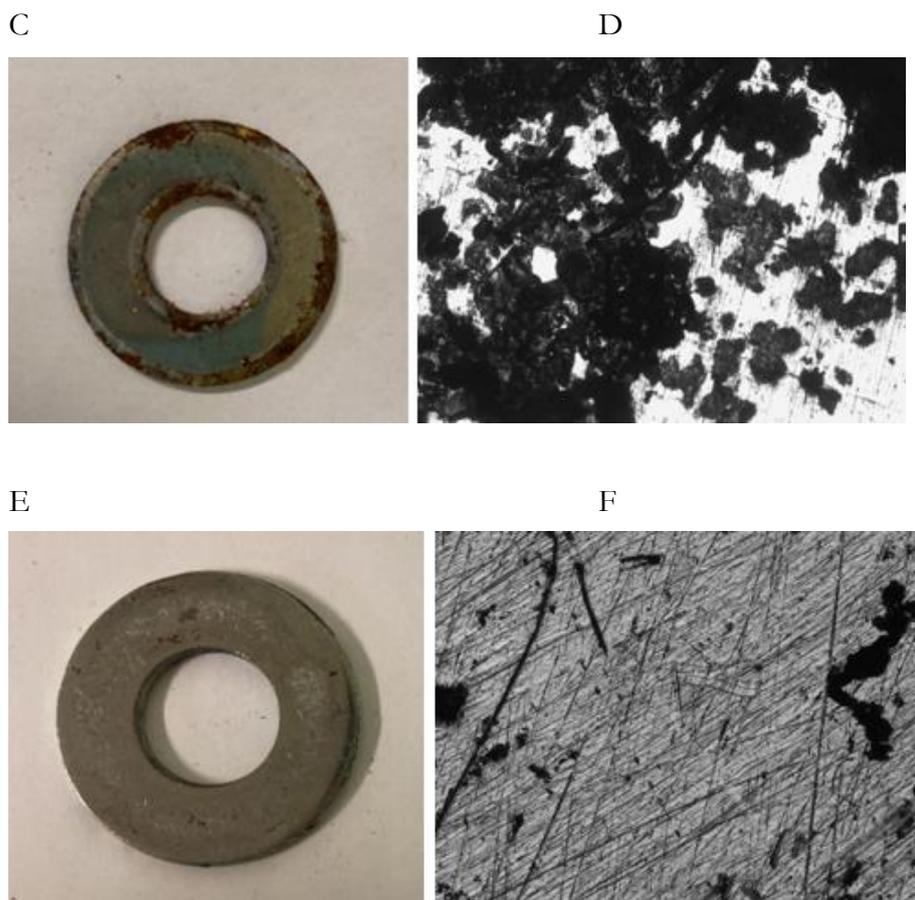


Figura 8 - Imagem macro (A) e micro 50X (B) do cupom de corrosão NS-2, imagem macro (C) e micro 50X (D) do cupom de corrosão NP-2 e imagem macro (E) e micro 50X (F) do cupom de corrosão NI-2. Fonte: dados da pesquisa.

Pode-se observar na Tabela 8, a variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão submetidos ao meio neutro.

Tabela 8 –Variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão em meio neutro

Tempo de avaliação	TAG	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Varição de massa (g)	Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade
2° Semana - Neutro	NS-2	5,06	5,06	0,00	0,00	Baixa
	NI-2	4,45	4,45	0,00	0,00	Baixa
	NP-2	4,53	4,51	0,02	0,25	Severa

Fonte: dados da pesquisa.

Neste contexto, o único cupom que evidenciou perda de massa foi o que esteve exposto ao meio neutro e envolto na embalagem de papel convencional. Visualmente, observou-se uma maior oxidação superficial, tanto nas imagens macro quanto nas microscópicas. Essa constatação destaca a limitada eficácia protetiva da embalagem de papel convencional em ambientes neutros, ressaltando a importância de considerar diferentes condições ambientais ao avaliar a potencial de materiais inibidores de corrosão.



### *Cupons de corrosão expostos em meio básico*

Cupom de corrosão BS-2, exposto ao meio básico sem nenhuma proteção (Figura 9 A e B), cupom de corrosão BP-2, exposto ao meio básico com proteção do papel convencional (Figura 9 C e D) e cupom de corrosão BI-2, exposto ao meio básico com proteção da embalagem com inibidor natural desenvolvida neste trabalho (Figura 9 E e F).

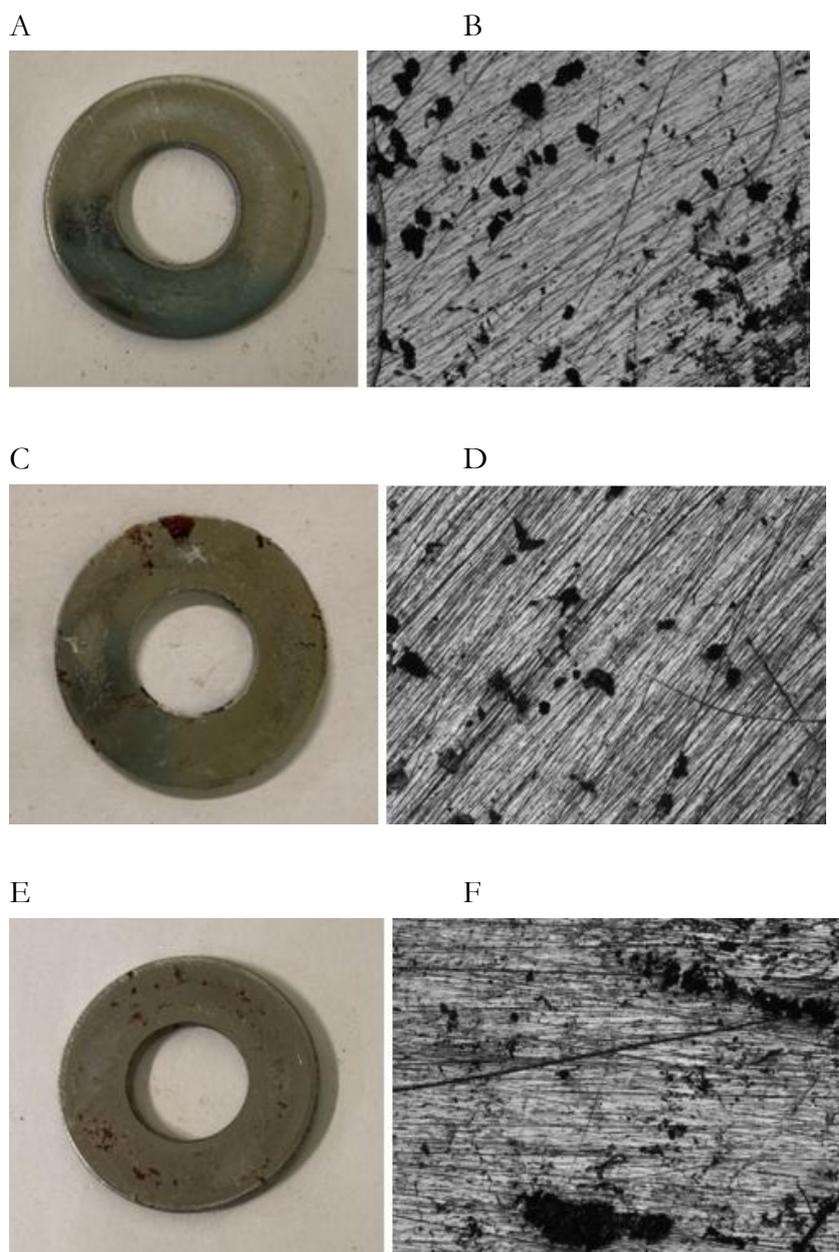


Figura 9. Imagem macro (A) e micro 50X (B) do cupom de corrosão BS-2, imagem macro (C) e micro 50X (D) do cupom de corrosão BP-2 e imagem macro (E) e micro 50X (F) do cupom de corrosão BI-2. Fonte: dados da pesquisa.

Pode-se visualizar na Tabela 9, a variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão submetidos ao meio básico.



Tabela 9. Variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão em meio básico

Tempo de avaliação	TAG	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Variação de massa (g)	Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade
2° Semana - Básico	BS-2	4,68	4,68	0,00	0,00	Baixa
	BI-2	4,65	4,65	0,00	0,00	Baixa
	BP-2	4,58	4,56	0,02	0,25	Severa

Fonte: dados da pesquisa.

Nesse contexto, o único cupom que apresentou perda de massa foi o que ficou exposto a um meio básico e envolto em embalagem de papel convencional. Observou-se, visualmente, uma maior oxidação superficial, tanto nas imagens macro quanto nas microscópicas. Essa constatação ressalta a eficácia limitada da embalagem de papel convencional em ambientes neutros, enfatizando a necessidade de considerar diversas condições ambientais ao avaliar a eficácia de materiais inibidores de corrosão.

#### Avaliação dos cupons de corrosão expostos por vinte e um dias

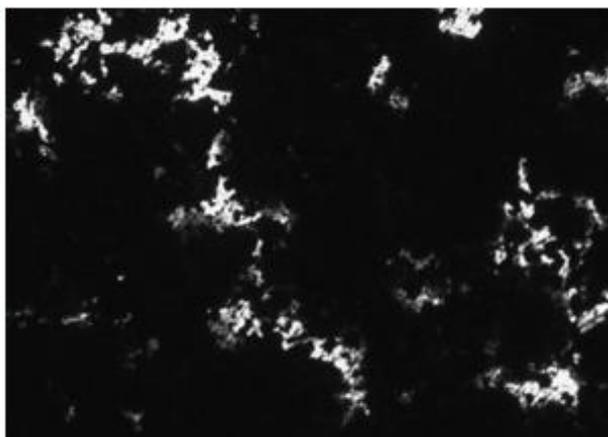
##### *Cupons de corrosão expostos em meio ácido*

Cupom de corrosão AS-3, exposto ao meio ácido sem nenhuma proteção (Figura 10 A e B), cupom de corrosão AP-3, exposto ao meio ácido com proteção do papel convencional (Figura 10 C e D) e cupom de corrosão AI-3, exposto ao meio ácido com proteção da embalagem com inibidor natural desenvolvida neste trabalho (Figura 10 E e F).

A



B



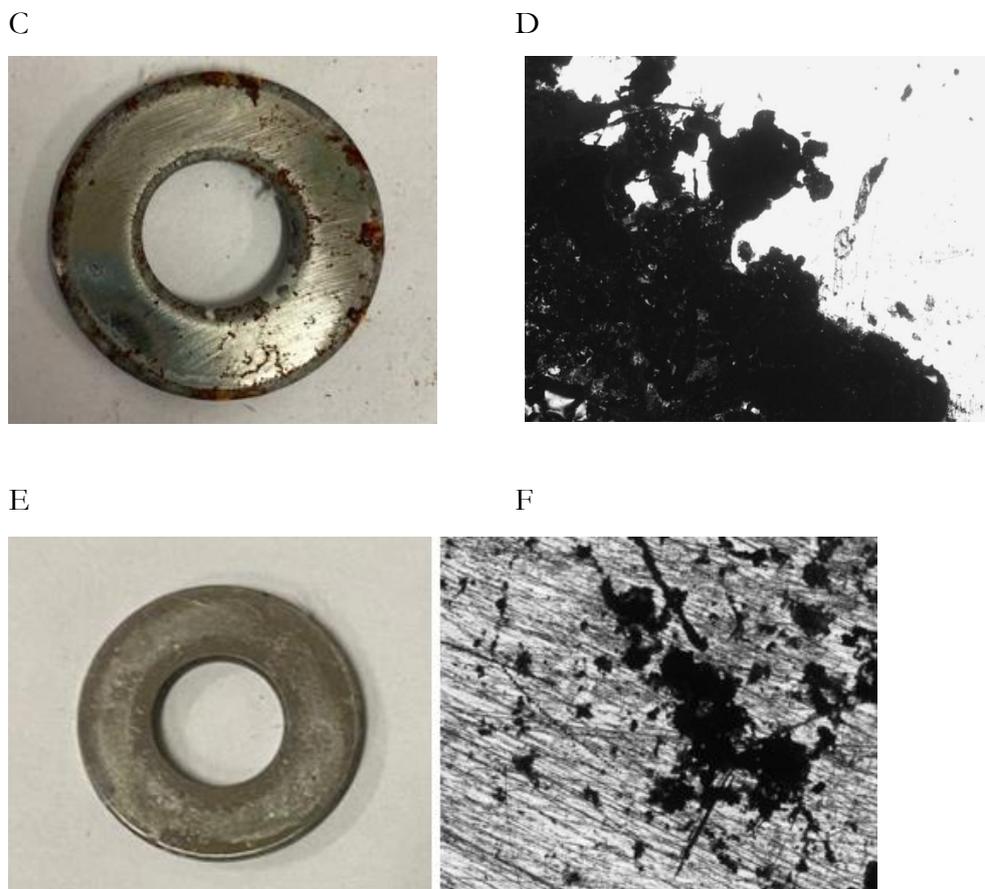


Figura 10 . Imagem macro (A) e micro 50X (B) do cupom de corrosão AS-3, imagem macro (C) e micro 50X (D) do cupom de corrosão AP-3 e imagem macro (E) e micro 50X (F) do cupom de corrosão AI-3. Fonte: dados da pesquisa.

Na Tabela 10, observa-se a variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão submetidos ao meio ácido.

Tabela 10. Variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão em meio ácido

Tempo de avaliação	TAG	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Variação de massa (g)	Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade
3º Semana – Ácido	AS-3	5,15	5,14	0,01	0,08	Moderada
	AI-3	5,17	5,17	0,00	0,00	Baixa
	AP-3	5,12	5,1	0,02	0,17	Alta

Fonte: dados da pesquisa.

Observa-se, neste caso, que o cupom exposto ao meio com a proteção da embalagem inibidora de corrosão apresentou resultados superiores, tanto em relação à perda de massa quanto nas análises visuais em macro e microscopia. Isso ressalta a eficácia da embalagem inibidora de corrosão em proporcionar uma proteção mais



efetiva contra os efeitos corrosivos do meio em questão, evidenciando seu desempenho superior em comparação com outras condições de exposição.

### *Cupons de corrosão expostos em meio neutro*

Cupom de corrosão NS-3, exposto ao meio neutro sem nenhuma proteção (Figura 11 A e B), cupom de corrosão NP-3, exposto ao meio neutro com proteção do papel convencional (Figura 11 C e D) e cupom de corrosão NI-3, exposto ao meio neutro com proteção da embalagem com inibidor natural desenvolvida neste trabalho (Figura 11 E e F).

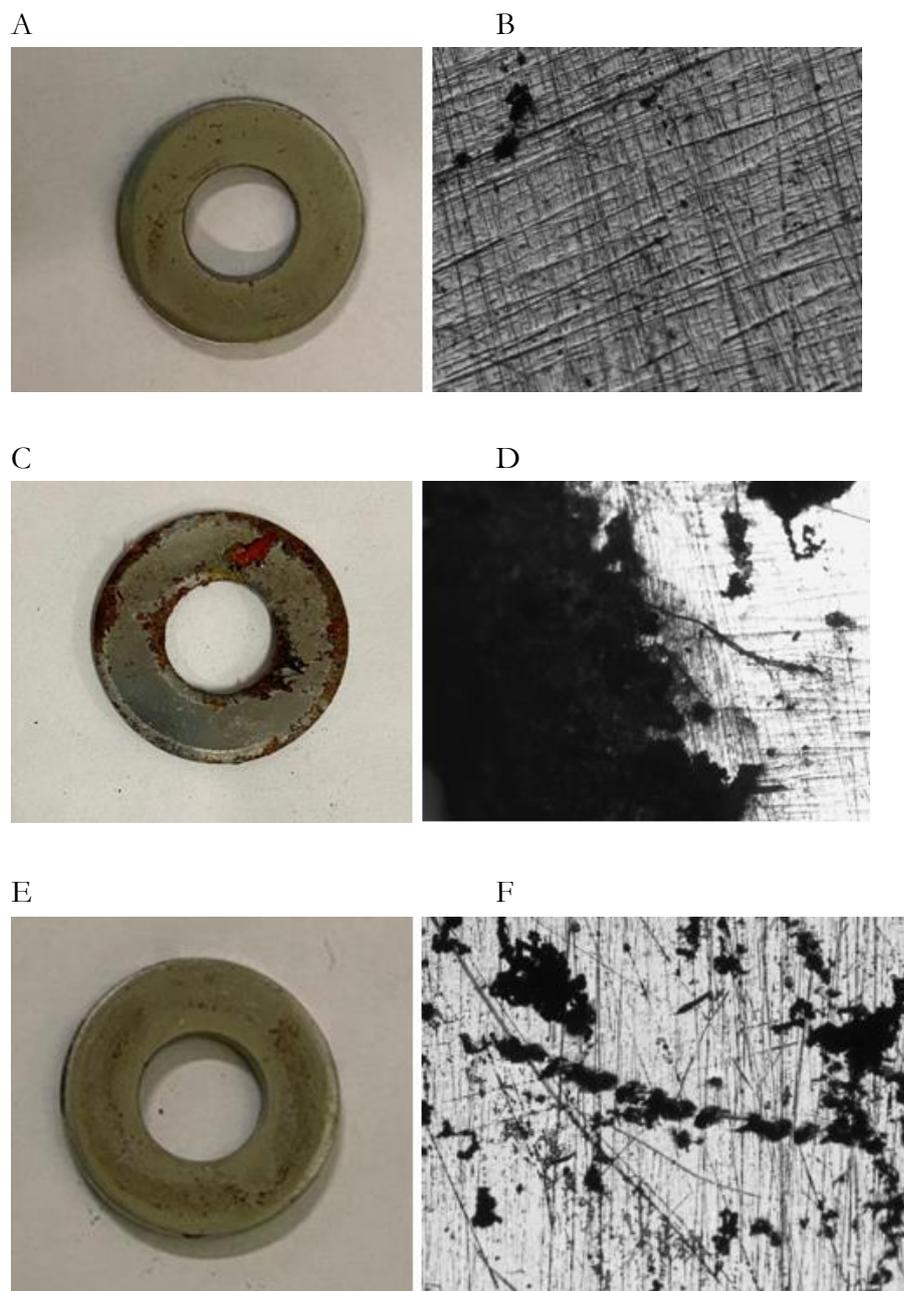


Figura 11. Imagem macro (A) e micro 50X (B) do cupom de corrosão NS-3, imagem macro (C) e micro 50X (D) do cupom de corrosão NP-3 e imagem macro (E) e micro 50X (F) do cupom de corrosão NI-3. Fonte: dados da pesquisa.



A Tabela 11 contém a variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão submetidos ao meio neutro.

Tabela 11. Variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão em meio neutro

Tempo de avaliação	TAG	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Variação de massa (g)	Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade
3ª Semana - Neutro	NS-3	5,13	5,12	0,01	0,08	Moderada
	NI-3	5,09	5,08	0,01	0,08	Moderada
	NP-3	4,53	4,5	0,03	0,25	Severa

Fonte: dados da pesquisa.

Neste cenário, destaca-se que o único cupom que apresentou perda de massa foi aquele exposto ao meio neutro e protegido pela embalagem de papel convencional. Visualmente, observou-se uma maior oxidação superficial, tanto em imagens macro quanto microscópicas. Essa constatação ressalta a eficácia limitada da embalagem de papel convencional na proteção contra a corrosão em ambientes neutros. Isso mostra a importância de considerar diversas condições ambientais ao avaliar o desempenho de materiais inibidores de corrosão, proporcionando uma compreensão mais abrangente de sua aplicabilidade e eficácia.

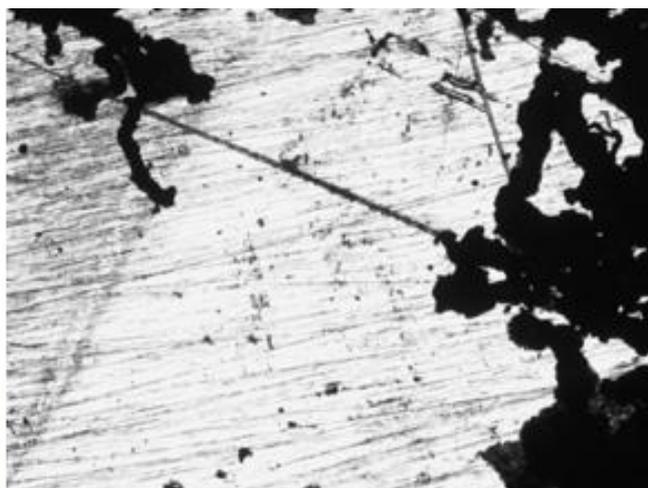
### *Cupons de corrosão expostos em meio básico*

Cupom de corrosão BS-3, exposto ao meio básico sem nenhuma proteção (Figura 12 A e B), cupom de corrosão BP-3, exposto ao meio básico com proteção do papel convencional (Figura 12 C e D) e cupom de corrosão BI-3, exposto ao meio básico com proteção da embalagem com inibidor natural desenvolvida neste trabalho (Figura 12 E e F).

A



B

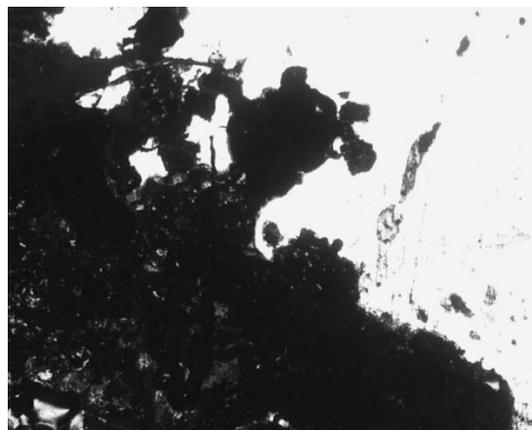




C



D



E



F

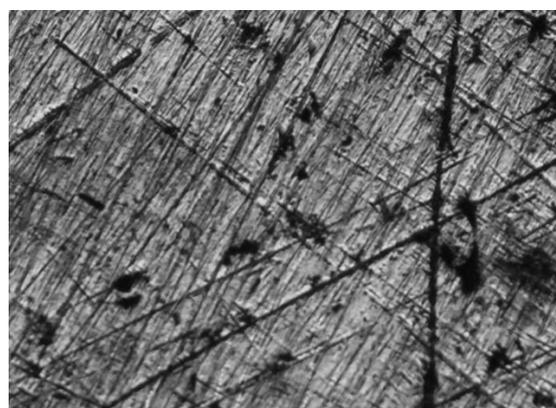


Figura 12. Imagem macro (A) e micro 50X (B) do cupom de corrosão BS-3, Imagem macro (C) e micro 50X (D) do cupom de corrosão BP-3 e imagem macro (E) e micro 50X (F) do cupom de corrosão BI-3. Fonte: dados da pesquisa.

Na Tabela 12, nota-se a variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão submetidos ao meio básico.

Tabela 12. Variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão em meio básico



Tempo de avaliação	TAG	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Varição de massa (g)	Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade
3° Semana - Básico	BS-3	5,23	5,22	0,01	0,08	Moderada
	BI-3	4,48	4,49	-0,01	-0,08	Baixa
	BP-3	4,58	4,56	0,02	0,17	Alta

Fonte: dados da pesquisa.

Neste caso, observa-se que o cupom exposto ao meio protegido pela embalagem inibidora de corrosão, obteve resultados superiores tanto na perda de massa quanto nas análises visuais em macro e microscopia. Esse cenário destaca a eficácia da embalagem inibidora de corrosão em fornecer uma proteção mais efetiva contra os efeitos corrosivos do meio, demonstrando seu desempenho superior em comparação com outras condições de exposição. Esses resultados consolidam a eficácia do inibidor de corrosão presente na embalagem, enfatizando seu papel crucial na preservação das peças metálicas contra a corrosão.

### ***Avaliação dos cupons de corrosão expostos por quarenta e nove dias***

Após a realização da análise de quarenta e nove dias, com o objetivo de avaliar a perda de massa do cupom de corrosão em meios ácidos, neutros e alcalinos em um prazo mais extenso, optou-se por não conduzir a análise das embalagens de papel convencional. Esta decisão decorreu do fato de que essas embalagens não apresentaram resultados positivos na proteção das peças metálicas ao longo do período de exposição, tornando desnecessária a continuação da avaliação para esse material específico.

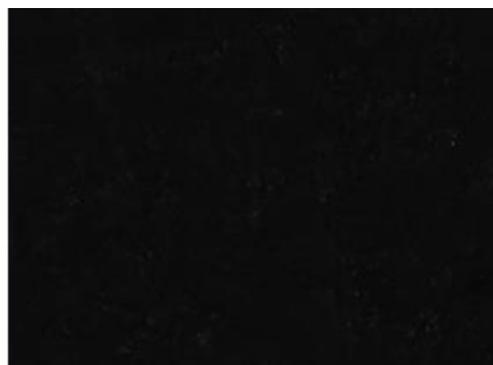
### ***Cupons de corrosão expostos em meio ácido***

Cupom de corrosão AS-4, exposto ao meio ácido sem nenhuma proteção (Figura 13 A e B) e cupom de corrosão AI-4, exposto ao meio ácido com proteção da embalagem com inibidor natural desenvolvida neste trabalho (Figura 13 C e D).

A



B



C

D



Figura 13 - Imagem macro (A) e micro 50X (B) do cupom de corrosão AS-4 e imagem macro (C) e micro 50X (D) do cupom de corrosão AI-4. Fonte: dados da pesquisa.

Verifica-se na Tabela 13, a variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão submetidos ao meio ácido.

Tabela 13. Variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão em meio ácido

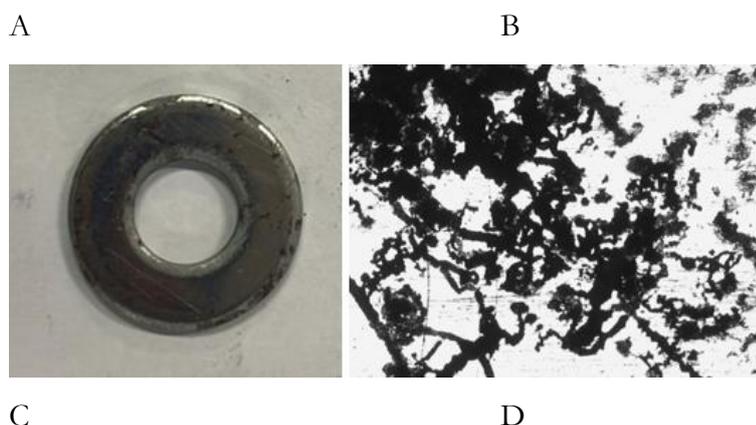
Tempo de avaliação	TAG	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Variação de massa (g)	Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade
6° Semana - Ácido	AS-4	5,15	5,12	0,03	0,13	Alta
	AI-4	5,17	5,17	0,00	0,00	Baixa

Fonte: dados da pesquisa.

Observa-se, neste caso, que o cupom exposto ao meio com a proteção da embalagem inibidora de corrosão apresentou resultados superiores, tanto em relação à perda de massa quanto nas análises visuais em macro e microscopia. Isso ressalta a eficácia da embalagem inibidora de corrosão em proporcionar uma proteção mais efetiva contra os efeitos corrosivos do meio em questão, evidenciando seu desempenho superior em comparação com outras condições de exposição.

### *Cupons de corrosão expostos em meio neutro*

Cupom de corrosão NS-4, exposto ao meio neutro sem nenhuma proteção (Figura 14 A e B) e cupom de corrosão NI-4, exposto ao meio neutro com proteção da embalagem com inibidor natural desenvolvida neste trabalho (Figura 14 C e D).



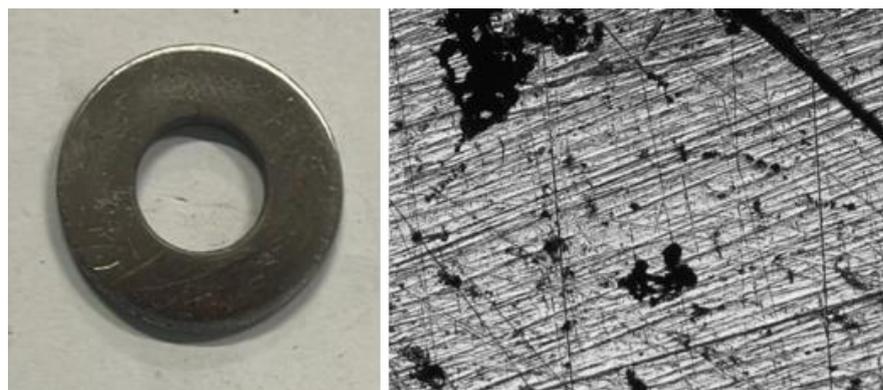


Figura 14. Imagem macro (A) e micro 50X (B) do cupom de corrosão NS-4. e imagem macro (C) e micro 50X (D) do cupom de corrosão NI-4. Fonte: dados da pesquisa.

Na Tabela 14, encontra-se a variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão submetidos ao meio neutro.

Tabela 14 –Variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão em meio neutro

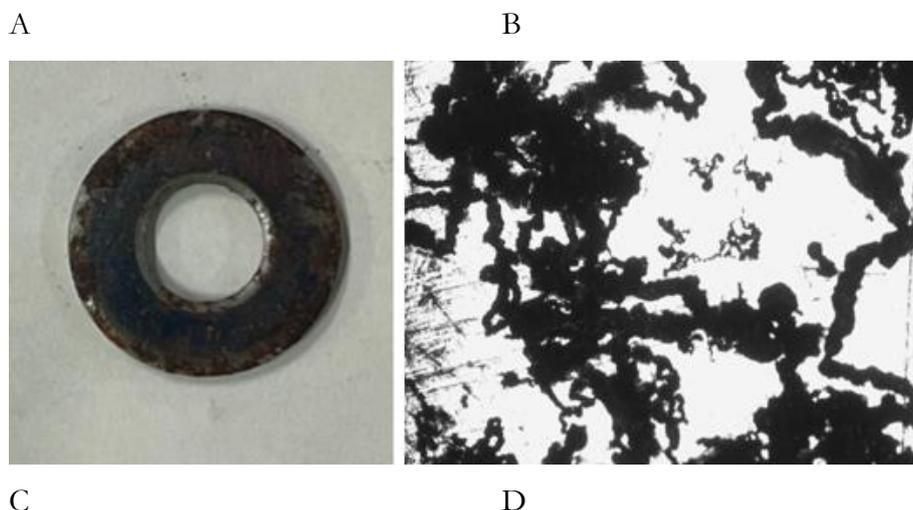
Tempo de avaliação	TAG	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Varição de massa (g)	Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade
6° Semana - Neutro	NS-4	5,13	5,11	0,02	0,08	Moderada
	NI-4	5,09	5,08	0,01	0,04	Moderada

Fonte: dados da pesquisa.

Neste caso, ambas as taxas de corrosão foram classificadas como moderadas. No entanto, a embalagem com o inibidor de corrosão registrou uma perda de massa inferior e, visualmente, exibiu menos pontos de oxidação. Esse resultado sugere que a presença do inibidor na embalagem contribuiu de maneira efetiva para a redução dos efeitos corrosivos, resultando em uma proteção mais eficiente das peças metálicas quando comparada às condições sem inibição.

### ***Cupons de corrosão expostos em meio básico***

Cupom de corrosão BS-4, exposto ao meio básico sem nenhuma proteção (Figura 15 A e B) e cupom de corrosão BI-4, exposto ao meio básico com proteção da embalagem com inibidor natural desenvolvida neste trabalho (Figura 15 C e D).



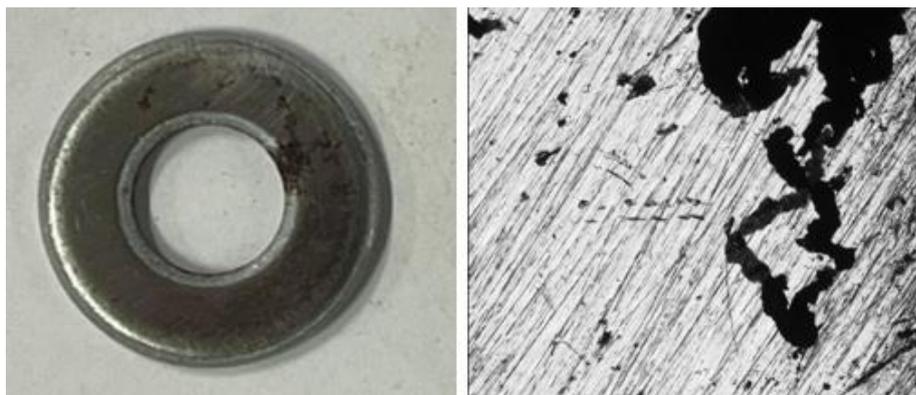


Figura 15. Imagem macro (A) e micro 50X (B) do cupom de corrosão BS-4 e imagem macro (C) e micro 50X (D) do cupom de corrosão BI-4. Fonte: dados da pesquisa.

A Tabela 15 contém a variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão submetidos ao meio básico.

Tabela 15. Variação de massa, taxa de corrosão e corrosividade dos cupons de corrosão em meio básico

Tempo de avaliação	TAG	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Varição de massa (g)	Taxa de corrosão (mm/ano)	Corrosividade
6° Semana - Básico	BS-6	5,23	5,2	0,03	0,13	Alta
	BI-6	4,48	4,48	0,00	0,00	Baixa

Fonte: dados da pesquisa.

Observa-se, neste caso, que o cupom exposto ao meio com a proteção da embalagem inibidora de corrosão apresentou resultados superiores, tanto em relação à perda de massa quanto nas análises visuais em macro e microscopia. Isso ressalta a eficácia da embalagem inibidora de corrosão em proporcionar uma proteção mais efetiva contra os efeitos corrosivos do meio em questão, evidenciando seu desempenho superior em comparação com outras condições de exposição.

### ***Consolidação do meio corrosivo ácido***

Visando proporcionar maior compreensão da variação de massa dos cupons de corrosão expostos aos meios ácidos, durante os períodos de 7, 14 e 21 dias, foi realizada uma análise da Figura 16 e da Tabela 16, que fornecem uma representação visual e detalhada dos resultados, contribuindo para uma interpretação mais abrangente do impacto corrosivo ao longo do tempo.

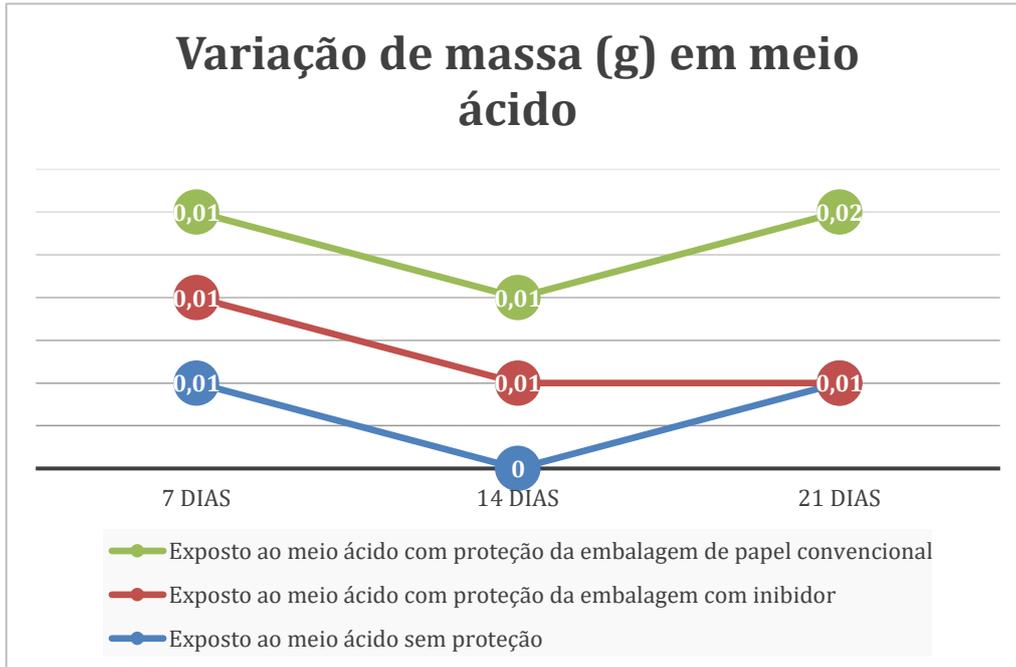


Figura 16. Variação de massa nos cupons de corrosão expostos ao meio ácido. Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 16. Variação de massa dos cupons de corrosão expostos no meio ácido

Exposição	Variação de massa em gramas (g)		
	7 Dias	14 Dias	21 Dias
Ao meio ácido sem proteção	0,01	0,00	0,01
Ao meio ácido com proteção da embalagem com inibidor	0,01	0,01	0,00
Ao meio ácido com proteção da embalagem de papel convencional	0,01	0,01	0,02

Fonte: dados da pesquisa.

Com o propósito de avaliar a eficiência de inibição da embalagem inibidora, procedeu-se ao cálculo utilizando a Equação 2 (GENTIL, 2022). A fórmula emprega a média da taxa de corrosão dos cupons expostos sem a embalagem inibidora e a média da taxa de corrosão dos cupons expostos com a embalagem inibidora. Os resultados desse cálculo estão na Tabela 17, fornecendo uma visão quantitativa da eficácia do inibidor em reduzir a corrosão das peças metálicas analisadas.

Tabela 17. Cálculo de eficiência de inibição em meio ácido

Média da taxa de corrosão em meio ácido sem inibidor	Média da taxa de corrosão em meio ácido com inibidor	Eficiência de inibição
0,11	0,13	-12,50%

Fonte: dados da pesquisa.



Observa-se que a média da taxa de corrosão não refletiu positivamente na eficiência de inibição, o que contrasta com as análises visuais em macro e microscopia. Devido à pequena variação de massa em relação à área do corpo de prova e ao tempo de exposição, o método de avaliação da corrosividade por meio da variação de massa pode não ser a abordagem mais adequada para concluir essa análise. Nesse sentido, as análises visuais em macro e microscópica emergem como alternativa mais apropriada para a avaliação deste estudo.

### **Consolidação do meio corrosivo neutro**

Para oferecer uma compreensão mais clara da variação de massa dos cupons de corrosão expostos aos meios ácidos nos períodos de 7, 14 e 21 dias, foi realizada uma análise da Figura 17 e da Tabela 18, que proporcionam uma representação visual e detalhada dos resultados, contribuindo para uma interpretação mais abrangente do impacto corrosivo ao longo do tempo.

Na Figura 17, a linha azul, que representa os dados do meio neutro sem proteção, apresenta os mesmos valores que a linha verde, que indica os dados do meio neutro protegido pela embalagem de papel convencional, mostrando que a linha azul está sobreposta pela linha verde, e que por isso não pode ser observada.

Para verificar a eficácia da embalagem inibidora, realizou-se o cálculo utilizando a Equação 2 (GENTIL, 2022), que considera a média da taxa de corrosão dos cupons expostos sem a embalagem inibidora e a média da taxa de corrosão dos cupons expostos com a embalagem inibidora. Os resultados desse cálculo foram registrados na Tabela 19, proporcionando uma abordagem quantitativa da eficácia do inibidor na redução da corrosão das peças metálicas analisadas.

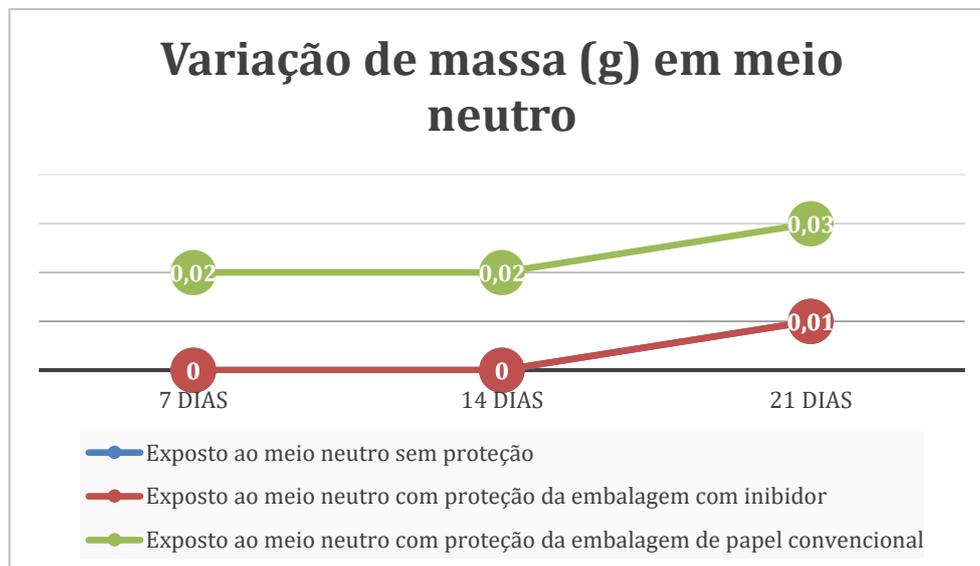


Figura 17. Variação de massa nos cupons de corrosão expostos ao meio neutro. Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 18 – Variação de massa dos cupons de corrosão expostos no meio neutro



Exposição	Variação de massa em gramas (g)		
	7 Dias	14 Dias	21 Dias
Ao meio neutro sem proteção	0,00	0,00	0,01
Ao meio neutro com proteção da embalagem com inibidor	0,00	0,00	0,01
Ao meio neutro com proteção da embalagem de papel convencional	0,02	0,02	0,03

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 19. Cálculo de eficiência de inibição em meio neutro

Média da taxa de corrosão em meio neutro sem inibidor	Média da taxa de corrosão em meio neutro com inibidor	Eficiência de inibição
0,03	0,03	0,00%

Fonte: dados da pesquisa.

Observa-se que não houve ganho na eficiência de inibição, contrastando com a análise visual em macro e micro dos cupons de corrosão. Isso evidencia que o ensaio por variação de massa não se mostrou eficiente para essa análise, sendo mais apropriada a avaliação visual em macro e microscopia.

### *Consolidação do meio corrosivo básico*

Visando proporcionar uma compreensão mais nítida da variação de massa dos cupons de corrosão expostos aos meios ácidos nos períodos de 7, 14 e 21 dias, foi feita uma análise da Figura 18 e da Tabela 20, que fornecem uma representação visual mais detalhada dos resultados, contribuindo para uma interpretação mais abrangente do impacto corrosivo ao longo do tempo.



Figura 18. Variação de massa nos cupons de corrosão expostos ao meio básico. Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 20. Variação de massa dos cupons de corrosão expostos no meio básico



Exposição	Variação de massa em gramas (g)		
	7 Dias	14 Dias	21 Dias
Ao meio básico sem proteção	0,01	0,00	0,01
Ao meio básico com proteção da embalagem com inibidor	0,00	0,00	0,00
Ao meio básico com proteção da embalagem de papel convencional	0,02	0,02	0,02

Fonte: dados da pesquisa.

Para avaliar a eficácia da embalagem inibidora, calculou-se a média da taxa de corrosão dos cupons expostos com e sem a embalagem inibidora, utilizando a Equação 2 (GENTIL, 2022). Os resultados quantitativos desse cálculo estão registrados na Tabela 21, oferecendo uma visão da eficácia do inibidor na redução da corrosão das peças metálicas analisadas.

Tabela 21. Cálculo de eficiência de inibição em meio básico

Média da taxa de corrosão em meio neutro sem inibidor	Média da taxa de corrosão em meio neutro com inibidor	Eficiência de inibição
0,11	0,03	75,00%

Fonte: dados da pesquisa.

Neste caso, observou-se um aumento na eficiência de inibição, alinhando-se as análises visuais em macro e micro dos cupons de corrosão. Apesar dessa concordância, ressalta-se que o ensaio visual em macro e micro se mostra mais eficiente devido à pequena área exposta e ao curto período de exposição do cupom de corrosão no ensaio de perda de massa.

## Conclusão

A análise dos resultados obtidos no ensaio de perda de massa inicialmente não revelou diferenças substanciais entre as amostras com e sem a aplicação da embalagem com inibidor de corrosão. Contudo, ao aprofundar nossa investigação por meio das imagens registradas durante o experimento, torna-se evidente que a incorporação do inibidor exerceu um papel significativo na redução da corrosão. As evidências visuais oferecem uma perspectiva única e esclarecedora sobre a eficácia do inibidor, apresentando uma notável mitigação dos efeitos corrosivos.

A abordagem abrangente desta pesquisa ressalta a importância de considerar diversos parâmetros na avaliação de inibidores de corrosão. Enquanto os resultados do ensaio de perda de massa inicial podem sugerir uma eficácia limitada, as informações visuais complementares destacam a capacidade substancial do inibidor em proporcionar uma proteção eficiente contra a corrosão. Essa constatação ressalta a necessidade de uma análise holística, incorporando múltiplos métodos de avaliação, para obter uma compreensão completa do desempenho de inibidores de corrosão em ambientes específicos.

## Referências

Al-Otaibi MS, AL-Mayouf AM, Khan M, Mousa AA, Al-Mazroa SA, Alkathlan HZ 2014. Corrosion inhibitory action of some plant extracts on the corrosion of mild steel in acidic media. *Arabian Journal Of Chemistry* 7(3):340-346.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2023). Corrosão por exposição à névoa salina — Métodos de ensaio (NBR 17088). Abnt.

American Society for Testing and Materials. (2004). Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. (ASTM G31-72). Astm International. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/33955/25d351122f994d5080621bbacf81fbba/ASTM-G31-72-2004-.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Buchheit RG 2018. Corrosion Resistant Coatings and Paints. *Handbook Of Environmental Degradation Of Materials*. Elsevier, Amsterdam, p. 449-468.

Callister Jr WD, Rethwisch DG 2018. *Materials science and engineering: An introduction*. Wiley, Nova Jersey, 977 pp.

European Standard Norma Européenne Europäische Norm. (2000). Plain washers - Norma series. (EN ISO 7089). Cen. Disponível em: <https://www.newfastener.com/wp-content/uploads/2013/03/DIN125-DIN-EN-ISO-7089.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2024.

Gentil V 2022. *Corrosão*. Ltc, Rio de Janeiro, 408 pp.

Kavitha N, Manjula P, Anandha Kumar N 2014. Syneristic effect of C. Papaya leaves extract-Zn<sup>2+</sup> in corrosion inhibition of mild steel in aqueous medium. *Research Journal of Chemical Sciences* 4(8):88-93.

Loto CA 2012. Electrochemical Corrosion Behaviour of Mild Steel Reinforcement in Concrete in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *Journal Of Materials And Environmental Science* 3(1):195-205.

National Association Of Corrosion Engineers. (2005). Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations. (RP0775). Nace. Disponível em: [https://webstore.ansi.org/preview-pages/NACE/preview\\_NACE+Standard+RP0775-2005.pdf?srsltid=AfmBOor7Y6ATCVK4YZ\\_nj\\_36gWthbgHsEz2qWapH2ui7FB1824F8jrGr](https://webstore.ansi.org/preview-pages/NACE/preview_NACE+Standard+RP0775-2005.pdf?srsltid=AfmBOor7Y6ATCVK4YZ_nj_36gWthbgHsEz2qWapH2ui7FB1824F8jrGr). Acesso em: 19 jul. 2024.

Nwigwe US, Mbam SO, Umunakwe R 2019. Evaluation of Carica papaya leaf extract as a bio-corrosion inhibitor for mild steel applications in a marine environment. *Materials Research Express* 6(10):105107.

Oghenerukevwe PO, Ajuwa CI, Samuel OD, Adepoju TF 2023. Carica papaya leaf extract (CPL) as green corrosion inhibitor for AISI 4140 steel in 15% hydrochloric acid medium. *Case Studies In Chemical And Environmental Engineering* 8(1): 100479.

Okafor PC, Osabor VI, Ebenso EE 2007. Ecofriendly corrosion inhibitors: inhibitive action of ethanol extracts of *Garcinia kola* for the corrosion of mild steel in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions. *Pigment & Resin Technology* 36(5):299-305.

Poongothai N, Athira R, Neena PK 2018. A Green Approach to Preparing Bio-Inhibitor for Mild Steel Corrosion in Different Acid Mediums. *International Journal Of Engineering & Technology* 7(36):322-329.

Reis APC, Alves RMV 2007. Embalagens com inibidores de corrosão. *Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens* 3:1-3. Disponível em:



[https://ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/cetea/informativo/v19n3/v19n3\\_artigo1.pdf](https://ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/cetea/informativo/v19n3/v19n3_artigo1.pdf). Acesso em: 19 jul. 2024.

Roberge PR 2008. *Corrosion Engineering: principles and practice*. New York: McGraw-Hill, New York, 754 pp.

Silva ALVC, Mei PR 2021. *Aços e ligas especiais*. Edgard Blucher, São Paulo, 576 pp.

Torres VV, Cabral GB, Silva ACG, Ferreira KCR, D'elia E 2016. Ação inibidora de extratos da semente do mamão Papaia na corrosão do aço-carbono 1020 em HCl 1 Mol L<sup>-1</sup>. *Química Nova* 39(4):423-430.

Verma C, Ebenso EE, Quraishi MA, Hussain CM 2021. Recent developments in sustainable corrosion inhibitors: design, performance and industrial scale applications. *Materials Advances* 2(12):3806-3850.