

# USO DO ÓLEO LUBRIFICANTE QUEIMADO COMO REVESTIMENTO ANTICORROSIVO: VIABILIDADE E IMPACTOS

SILVA, Nataniélly, Santoni<sup>1</sup>

PRESTES, Cristine Oliveira<sup>2</sup>

**RESUMO:** A corrosão configura-se como um dos mais relevantes desafios enfrentados pela indústria metalúrgica contemporânea, uma vez que compromete a durabilidade, a integridade estrutural e a eficiência operacional dos materiais metálicos, ocasionando expressivos prejuízos econômicos e ambientais. Diante desse contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da utilização do óleo lubrificante queimado como revestimento anticorrosivo alternativo. A pesquisa foi conduzida mediante ensaios laboratoriais comparativos envolvendo amostras metálicas tratadas com óleo lubrificante residual, com o produto industrial Zarcão e sem qualquer proteção, as quais foram submetidas à imersão em solução ácida sob condições controladas. As análises microscópicas e visuais demonstraram que o óleo lubrificante queimado atua como uma barreira parcial, capaz de retardar o processo de oxidação, embora apresente desempenho inferior ao revestimento industrial, cuja formulação é tecnicamente aprimorada para fins anticorrosivos. Ainda assim, a proposta revela-se ambientalmente vantajosa e economicamente acessível, promovendo o reaproveitamento de um resíduo potencialmente poluente. Conclui-se que o óleo lubrificante queimado, apesar de não substituir integralmente o Zarcão, apresenta potencial aplicabilidade como alternativa sustentável em contextos de baixo custo e menor exigência técnica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Óleo lubrificante queimado; Revestimento anticorrosivo; Sustentabilidade.

**ABSTRACT:** Corrosion stands as one of the most significant challenges faced by the contemporary metallurgical industry, as it compromises the durability, structural integrity, and operational efficiency of metallic materials, resulting in substantial economic and environmental losses. In this context, the present study aimed to evaluate the technical, economic, and environmental feasibility of using waste lubricating oil as an alternative anticorrosive coating. The research was conducted through controlled laboratory experiments comparing metallic samples treated with used lubricating oil, the industrial product Zarcão, and unprotected samples, all subjected to immersion in an acidic solution. Microscopic and visual analyses demonstrated that the burned lubricating oil acts as a partial barrier capable of delaying the oxidation process, although its performance remains inferior to that of the industrial coating, which is specifically engineered for anticorrosive purposes. Nevertheless, the approach proves to be environmentally advantageous and economically feasible, promoting the reuse of a potentially polluting residue. It is concluded that burned lubricating oil, although not a full substitute for Zarcão, presents potential applicability as a sustainable alternative in low-cost contexts and environments with lower technical demands.

**KEYWORDS:** Burned lubricating oil; Anticorrosive coating; Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

A corrosão representa um dos principais desafios enfrentados pela indústria moderna, comprometendo a durabilidade, a eficiência e a segurança de estruturas metálicas. Esse fenômeno acarreta altos custos de manutenção e reposição, além de demandar maior consumo de recursos minerais e energéticos. Segundo Gentil (2012), cerca de 25% da produção mundial de aço é destinada à compensação das

<sup>1</sup> Graduanda de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Campo Real.

Engm-nataniellysilva@camporeal.edu.br

<sup>2</sup> Graduado em Engenharia Mecânica. Especialização em Engenharia de Manutenção 4.0. Professor no Centro Universitário do Campo Real. prof\_cristineprestes@camporeal.edu.br

perdas causadas pela corrosão. De acordo com a World Corrosion Organization (2021), os prejuízos globais decorrentes da corrosão superam 3% do PIB mundial, evidenciando a magnitude econômica e científica desse problema.

Paralelamente, o descarte inadequado do óleo lubrificante queimado intensifica impactos ambientais, especialmente em regiões sem infraestrutura adequada para o tratamento de resíduos. Esse material contém metais pesados e compostos tóxicos resultantes da combustão, capazes de contaminar solos e recursos hídricos. De acordo com Nascimento (2022), a má gestão desse resíduo representa risco direto à saúde humana e aos ecossistemas, o que reforça a necessidade de soluções sustentáveis para seu reaproveitamento.

Nesse contexto, estudos recentes têm investigado o uso do óleo lubrificante queimado como agente protetor contra a corrosão, visto que se trata de um resíduo de baixo custo, abundante e de fácil obtenção. Ferreira (2021) destaca que o óleo lubrificante usado pode ser reaproveitado na proteção de componentes metálicos, reduzindo custos e ampliando seu ciclo de vida. De acordo com Ramos (2008), o rerrefino e o reaproveitamento desse tipo de resíduo representam práticas tecnicamente viáveis e ambientalmente seguras, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência do óleo lubrificante queimado como barreira anticorrosiva em comparação ao revestimento industrial Zarcão, analisando seu desempenho frente a diferentes ligas metálicas. A proposta busca promover o aproveitamento sustentável de resíduos industriais, aliando eficiência técnica, viabilidade econômica e responsabilidade ambiental, em conformidade com os princípios da economia circular e com as demandas atuais de sustentabilidade no setor industrial.

## **2 METODOLOGIA**

A pesquisa apresenta caráter qualitativo e experimental, abrangendo tanto a fundamentação teórica quanto a aplicação prática dos ensaios de corrosão. No aspecto qualitativo, busca-se compreender os princípios que relacionam o processo de corrosão metálica ao reaproveitamento do óleo lubrificante queimado como revestimento anticorrosivo de caráter sustentável. Segundo Gentil (2012), o entendimento dos mecanismos de oxidação e das propriedades das barreiras protetoras é essencial para o desenvolvimento de soluções eficazes.

Em caráter experimental, o estudo foi conduzido em ambiente laboratorial, com a realização de análises comparativas entre diferentes condições de tratamento superficial. Foram confeccionadas amostras metálicas de aço inoxidável, aço carbono e liga de alumínio, que receberam três tipos de tratamento, sem revestimento, com aplicação de óleo lubrificante queimado filtrado e com aplicação do Zarcão industrial. Conforme Capello *et al.* (2015), o uso de resíduos como agentes protetivos representa uma estratégia sustentável e de baixo custo para mitigar os efeitos da corrosão.

A escolha das três ligas metálicas fundamenta-se em suas características distintas de resistência e comportamento eletroquímico. O aço carbono foi selecionado por sua elevada suscetibilidade à oxidação e ampla aplicação industrial o aço inoxidável, por sua reconhecida resistência à corrosão e presença em equipamentos de alto desempenho; e o alumínio, por sua leveza, condutividade e formação natural de película passiva. Segundo Panossian (1981), a comparação entre materiais com diferentes graus de proteção permite avaliar a eficiência real dos revestimentos em condições constantes.

As amostras foram submetidas à imersão controlada em solução ácida, simulando condições de exposição a ambientes corrosivos. Essa abordagem visa demonstrar a viabilidade técnica, econômica e ambiental do uso do óleo lubrificante queimado como alternativa sustentável e de baixo custo ao revestimento industrial Zarcão. De acordo com Nascimento (2022), práticas que aliam reaproveitamento de resíduos e proteção de metais contribuem diretamente para os princípios da economia circular e para a redução de impactos ambientais.

## 2.1 MECANISMO ELETROQUÍMICO DO PROCESSO DE CORROSÃO

A corrosão metálica é um processo de deterioração espontânea que ocorre quando um metal reage com o meio ambiente, retornando ao seu estado mais estável na natureza. Em termos eletroquímicos, trata-se de uma reação de oxirredução que envolve simultaneamente a perda e o ganho de elétrons em diferentes regiões da superfície metálica. Segundo Gentil (2012), esse fenômeno pode ser interpretado como o funcionamento de uma célula eletroquímica, na qual o próprio metal atua como ânodo e cátodo, em presença de um eletrólito condutor, como a água com sais dissolvidos.

De acordo com Fontana (1986), a taxa de corrosão depende da diferença de potencial entre essas regiões e da condutividade do eletrólito, fatores que determinam a intensidade das reações envolvidas. No ânodo, ocorre a oxidação do metal, caracterizada pela liberação de elétrons e formação de íons metálicos. Esses elétrons migram através do corpo metálico até uma região catódica, onde ocorre a redução de espécies químicas presentes no meio, geralmente o oxigênio dissolvido na água. Esse fluxo contínuo de elétrons entre as regiões anódicas e catódicas mantém o circuito eletroquímico ativo, favorecendo a degradação progressiva do material. De acordo com Ramanathan (1990), o processo corrosivo é sustentado pela presença simultânea de um eletrólito condutor, um diferencial de potencial e regiões de oxidação e redução, configurando um sistema eletroquímico autossuficiente que tende a se perpetuar enquanto houver disponibilidade de reagentes no meio.

O produto desse processo é a formação de óxidos, hidróxidos ou sais metálicos como o óxido de ferro hidratado, conhecido como ferrugem. Esses compostos se acumulam sobre a superfície do metal, alterando suas propriedades e reduzindo sua resistência mecânica. Conforme Callister (2020), a corrosão é um fenômeno inevitável, decorrente da tendência natural dos metais de retornarem ao estado oxidado. Ramanathan (1990) ressalta que a aplicação de revestimentos e barreiras protetoras interrompe o circuito eletroquímico, dificultando o transporte de íons e elétrons e retardando a degradação, prolongando assim a durabilidade do material.

### **2.1.1 Métodos de proteção anticorrosiva**

A corrosão é um processo natural e inevitável que deteriora metais, podendo ser controlado por métodos que reduzem a velocidade de oxidação. Esses métodos atuam interrompendo o circuito eletroquímico responsável pela corrosão. Conforme Gentil (2012), a escolha do método depende das condições ambientais e da resistência desejada para o material.

Entre os principais métodos estão as barreiras físicas, os revestimentos metálicos e a proteção catódica. As barreiras, como tintas, vernizes e óleos, impedem o contato do metal com o meio corrosivo. Segundo Ramanathan (1990),

essas técnicas diminuem o potencial eletroquímico e controlam o avanço da degradação metálica.

Neste estudo, o óleo lubrificante queimado é analisado como barreira anticorrosiva sustentável. Sua aplicação cria uma película hidrofóbica que reduz a ação da umidade e do oxigênio. De acordo com Callister (2020), esse tipo de revestimento interrompe o fluxo de íons e elétrons, prolongando a vida útil do material metálico.

### **2.1.2 Reaproveitamento de óleo lubrificante queimado**

O óleo lubrificante queimado é classificado como resíduo perigoso e deve receber destinação ambientalmente adequada. A Resolução CONAMA nº 362/2005 estabelece diretrizes para o recolhimento, coleta e refino dos óleos, assegurando a redução dos impactos ambientais e o cumprimento da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto.

A logística reversa do óleo usado envolve etapas de coleta, transporte e refino, garantindo seu retorno ao ciclo produtivo. Segundo o Sindirrefino (2016), o refino é o processo mais eficiente para recuperar o óleo básico, permitindo sua reutilização com as mesmas propriedades do produto original e minimizando o descarte inadequado no meio ambiente.

De acordo com Capello e Grandó (2015), o reaproveitamento do óleo lubrificante queimado representa uma solução sustentável para o futuro, reduzindo a necessidade de extração de petróleo e o volume de resíduos gerados. Assim, o refino e a aplicação controlada do óleo em novas finalidades contribuem para a economia circular e para a preservação ambiental.

### **2.1.3 Meios corrosivos utilizados em ensaios de laboratório**

A imersão de peças metálicas em solução de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) constitui um meio intensificador de oxidação, uma vez que o baixo pH favorece a dissolução do metal e a formação de íons metálicos livres no eletrólito. De acordo com Panossian (1981), esse tipo de ensaio acelera a degradação e permite avaliar a eficiência de tratamentos anticorrosivos em ambientes severos. Em paralelo, a presença de íons cloreto ( $NaCl$ ) no meio aquoso eleva a condutividade elétrica e

potencializa o transporte de elétrons entre regiões anódicas e catódicas, promovendo a ruptura da película passiva dos metais. Esse fenômeno foi observado no estudo de Pereira *et al.* (2024) sobre o aço-carbono em  $H_2SO_4$  com adição de  $SO_4^{2-}$ , ao se constatar que a introdução de sais aumenta a taxa de corrosão.

A escolha combinada desses meios simulados ( $H_2SO_4$  e NaCl) oferece condições controladas e reprodutíveis para avaliar a resistência de materiais e a performance de revestimentos protetivos. Segundo Wicaksono *et al.* (2023), ensaios de imersão em soluções ácidas e salinas permitem prever o comportamento de metais em ambientes industriais e marítimos, assegurando confiabilidade aos resultados laboratoriais.

## 2.2 MATERIAIS E SOLUÇÕES UTILIZADAS NOS ENSAIOS

Os materiais empregados nos ensaios foram selecionados de forma a representar diferentes comportamentos frente ao processo corrosivo. Observa-se no Quadro 1 as amostras, revestimentos e soluções utilizadas nos ensaios laboratoriais.

Quadro 1 – Amostras, revestimentos e soluções.

Material	Quantidade	Finalidade
Aço Inoxidável.	8 uni. de 5cm × 5cm × 0,2cm.	Avaliar o desempenho dos revestimentos neste material.
Liga de Alumínio.	8 uni. de 5cm × 5cm × 0,2cm.	Avaliar o desempenho dos revestimentos neste material.
Aço Carbono.	8 uni. de 5cm × 5cm × 0,2cm.	Avaliar o desempenho dos revestimentos neste material.
Óleo queimado.	1L	Testar a eficiência anticorrosiva sustentável.
Zarcão industrial.	1 lata de spray.	Revestimento de controle de desempenho.
$H_2SO_4$ de 1 mol	1L	Acelerar a corrosão.
NaCl de 5%	1L	Simular ambiente marinho.

Fonte: Autora (2025).

O Quadro 1 apresenta os três diferentes tipos de metais analisados, os revestimentos anticorrosivos aplicados e as soluções empregadas como meios corrosivos. Conforme Gentil (2012), a escolha adequada dos materiais e dos meios de exposição é fundamental para assegurar resultados consistentes em estudos de corrosão. Observa a seguir no Quadro 2 todos os instrumentos utilizados nos ensaios laboratoriais.

Quadro 2 – Instrumentos utilizados nos ensaios.

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Finalidade</b>
Recipientes de vidro 250 mL.	12 unidades.	Permitir a submersão controlada das amostras.
Estufa de secagem.	1 unidade.	Secagem e uniformidade das amostras antes da aplicação dos revestimentos.
Balança analítica de precisão	1 unidade.	Determinar a massa inicial e final das amostras.
Lixas abrasivas P100, P320, P600, P1200, P2500 e P3000.	4 unidades de cada.	Remover as impurezas, oxidações e padronizar a rugosidade das superfícies
Suporte para lixa com velcro.	1 unidade.	Adaptador para politriz portátil, usado para acoplar lixas abrasivas.
Furadeira.	1 unidade.	Utilizado junto com o suporte das lixas para realizar o polimento das amostras.
Alumina 0,05 mol.	500ml.	Utilizada como agente abrasivo de polimento final, proporcionando acabamento.
Filtro de inox 8"x2" com 75 µm.	1 unidade.	Filtrar o óleo lubrificante queimado.
Luvas de PVC.	1 par	Equipamento de Proteção Individual
Álcool isopropílico (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O).	1L	Realizar a limpeza e desengraxe das superfícies metálicas.

Fonte: Autora (2025).

Conforme Wicaksono *et al.* (2023), o controle das variáveis experimentais é essencial para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos em ensaios de corrosão.

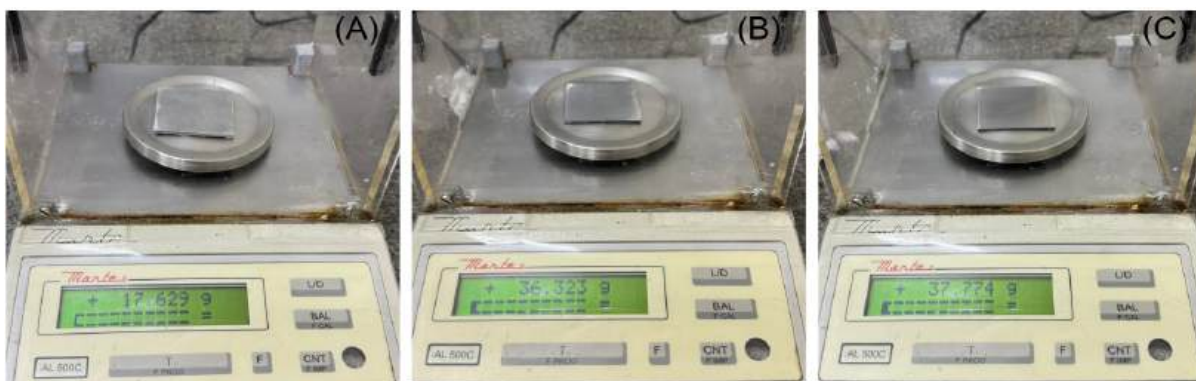
## 2.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental foi conduzido em ambiente laboratorial, seguindo etapas padronizadas que garantiram a reprodutibilidade e a confiabilidade dos resultados obtidos. As atividades compreenderam o preparo das amostras metálicas, o tratamento do óleo lubrificante queimado, a aplicação dos revestimentos anticorrosivos e a exposição controlada dos corpos de prova aos meios corrosivos.

### 2.3.1 Preparação das amostras

A Figura 1 apresenta o processo de pesagem inicial das amostras metálicas, sendo possível observar em (A) a amostra de alumínio, em (B) a de aço carbono e em (C) a de aço inoxidável.

Figura 1 - Pesagem das Amostras.



Fonte: Autora (2025).

As amostras metálicas foram inicialmente pesadas em balança analítica de precisão, assegurando a confiabilidade dos valores de massa inicial. Cada corpo de prova foi numerado e separado conforme o tipo de liga, sendo alumínio, aço carbono e aço inoxidável, para garantir rastreabilidade durante todas as etapas do ensaio. Segundo Gentil (2012), a padronização das amostras é essencial para a obtenção de resultados comparativos consistentes.

Após a pesagem, realizou-se o registro fotográfico das amostras, compondo um banco de dados organizado em tabela complementar ao controle numérico apresentado. Esse conjunto de registros fotográficos e valores de massa foi

elaborado para permitir o acompanhamento sistemático da perda ou ganho de massa ao longo dos ensaios, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Dados de pesagem.

Amostras De Controle				
Material	Solução	Inicial (g)	Final (g)	% Perda
Aço inoxidável	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	37,861	34,945	7,70%
Aço Carbono	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	36,722	33,193	9,61%
Liga de Alumínio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	17,629	16,456	6,65%
Aço inoxidável	NaCl	37,832	36,724	2,93%
Aço Carbono	NaCl	37,886	36,724	3,53%
Liga de Alumínio	NaCl	17,748	17,156	3,34%
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				
Material	Revestimento	Inicial (g)	Final (g)	% Perda
Aço inoxidável	Zarcão	37,825	35,846	5,23%
Aço inoxidável	Óleo queimado	37,802	35,480	6,14%
Aço Carbono	Zarcão	36,735	34,669	5,62%
Aço Carbono	Óleo queimado	36,637	33,739	7,91%
Liga de Alumínio	Zarcão	17,689	17,203	2,75%
Liga de Alumínio	Óleo queimado	17,596	16,822	4,40%
NaCl				
Material	Revestimento	Inicial (g)	Final (g)	% Perda
Aço inoxidável	Zarcão	37,774	37,924	-0,40%
Aço inoxidável	Óleo queimado	37,818	37,821	-0,008%
Aço Carbono	Zarcão	36,323	36,462	-0,38%
Aço Carbono	Óleo queimado	36,207	36,208	-0,003%
Liga de Alumínio	Zarcão	17,487	17,649	-0,93%
Liga de Alumínio	Óleo queimado	17,637	17,604	0,19%

Fonte: Autora (2025).

Esse procedimento viabilizou a documentação das condições originais de cada corpo de prova, facilitando a observação de alterações superficiais ao longo do experimento. Conforme Wicaksono *et al.* (2023), o acompanhamento visual é um método eficaz para correlacionar a evolução da corrosão com o tempo de exposição.

A preparação das superfícies metálicas iniciou-se com o processo de lixamento, etapa essencial para garantir a padronização dos corpos de prova e a limpeza inicial das amostras, para a execução deste procedimento, realizou-se uma adaptação em uma furadeira, acoplando-se um suporte com base adesiva de velcro. Utilizaram-se lixas abrasivas retangulares, que foram conformadas ao formato circular, com o auxílio de uma tesoura e fixadas à base do suporte com cola instantânea, essa etapa buscou eliminar impurezas, oxidações e irregularidades. Conforme Gentil (2012), a uniformização superficial é indispensável para evitar interferências na avaliação da corrosão.

O lixamento foi realizado de forma sequencial com lixas de granulações P100, P320, P600, P1200, P2500 e P3000, seguindo ordem crescente de abrasividade até obter superfície lisa e uniforme, garantindo padronização e ausência de irregularidades. Segundo Gentil (2012) e Panossian (1981), a redução progressiva da rugosidade superficial é essencial para assegurar a repetibilidade e a confiabilidade dos resultados em ensaios de corrosão.

O procedimento foi conduzido de maneira padronizada para todas as amostras, assegurando o mesmo tempo de um minuto e trinta segundos e a direção de lixamento sempre no sentido horário. Essa padronização garantiu a homogeneidade superficial e favoreceu a posterior aplicação dos revestimentos. Conforme Wicaksono *et al.* (2023), o controle do preparo da superfície é determinante para a adesão e a eficiência de camadas protetoras metálicas.

Após o processo de lixamento, as amostras passaram por uma etapa de higienização, iniciando-se pela imersão em álcool isopropílico, o mesmo foi empregado por sua eficiência na remoção de resíduos e por não deixar traços de impurezas, garantindo a pureza da superfície e a reprodutibilidade dos resultados experimentais. Segundo Biotec (2025), setores como o automotivo dependem de seu desempenho confiável, principalmente em processos de acabamento e preparação de peças, onde a remoção eficiente de óleos, graxas e partículas é indispensável para manter padrões de qualidade e performance.

Em seguida, realizou-se a secagem manual com papel-linho, eliminando partículas e umidade residual das superfícies metálicas. Segundo Panossian (1981), a padronização do acabamento inicial evita variações e melhora a reprodutibilidade dos ensaios de corrosão. Por fim, as amostras foram levadas à estufa a 60 °C por duas horas, garantindo completa eliminação da umidade.

### **2.3.2 Tratamento do óleo lubrificante queimado**

O processo de filtragem do óleo lubrificante queimado, sendo possível observar a adaptação do uso do filtro metálico 8"x2" com 75 µm de abertura e malha 200, dando início a passagem do fluido em busca de retirar o material particulado. Esse procedimento foi essencial para garantir maior homogeneidade e consistência do material aplicado nas amostras metálicas durante os ensaios de proteção anticorrosiva. De acordo com Capello *et al.* (2015), Desiderato (2009), o reaproveitamento do óleo lubrificante, quando adequadamente tratado, constitui alternativa tecnicamente viável e sustentável para revestimentos de baixo custo, contribuindo para a redução de resíduos perigosos e impactos ambientais.

### **2.3.3 Aplicação das barreiras anticorrosivas nas amostras**

As amostras metálicas foram divididas em três grupos experimentais distintos, conforme o tratamento superficial aplicado.

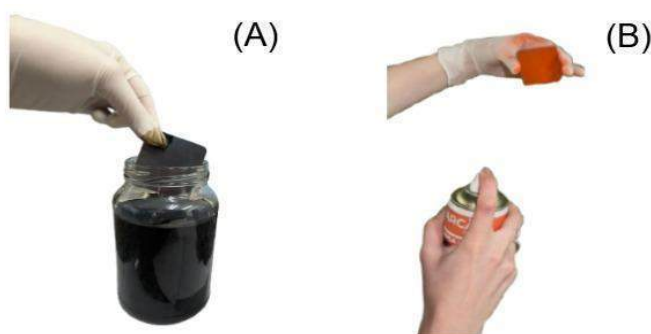
O Grupo 1 foi definido como controle, não recebendo qualquer tipo de revestimento, servindo como referência comparativa para os demais grupos. Foram utilizadas seis amostras, sendo uma unidade de cada liga metálica para cada uma das soluções sendo ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e cloreto de sódio (NaCl), com o objetivo de estabelecer parâmetros de controle. Conforme Gentil (2012), a presença de um grupo controle é fundamental para avaliar a efetividade de tratamentos anticorrosivos.

O Grupo 2 recebeu a aplicação de óleo lubrificante queimado filtrado, totalizando seis amostras, sendo duas de cada liga metálica. As amostras foram divididas igualmente, destinando-se uma unidade de cada material para a solução de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e uma unidade de cada material para a solução de cloreto de sódio (NaCl). Esse procedimento foi realizado por imersão total das amostras

durante trinta segundos em um recipiente de vidro contendo o óleo lubrificante queimado filtrado como apresenta a seguir na Figura 6 (A), seguida de mais trinta segundos para o escoamento do excesso. O processo foi repetido duas vezes de forma cronometrada, assegurando o contato integral entre a superfície metálica e o agente protetivo. Segundo Capello *et al.* (2015), o reaproveitamento do óleo usado pode atuar como barreira física de baixo custo contra a corrosão.

Por fim, o Grupo 3 teve suas amostras separadas da mesma forma que o Grupo 2 para ser revestido com Zarcão industrial, aplicado por meio de spray a uma distância aproximada de 20 cm, garantindo deposição uniforme, segundo PPG Industrial do Brasil (2021), o fundo anticorrosivo Zarcão apresenta propriedades de alta aderência e proteção contra corrosão em superfícies metálicas. Essa divisão experimental possibilitou a comparação direta entre métodos sustentáveis e industriais de proteção. Na Figura 2, são apresentados os exemplos das aplicações realizadas nas amostras referentes aos Grupos 2 e 3.

Figura 2 – Aplicação das barreiras anticorrosivas nas amostras metálicas.



Fonte: Autora (2025).

Observa-se na Figura 2 (A) referente ao Grupo 2, aplicação do óleo queimado, Figura 2 (B) pertinente ao Grupo 3, aplicação do Zarcão industrial. Depois que os revestimentos foram aplicados, às amostras do Grupo 2, foram submetidas à pré-secagem em temperatura ambiente por 1 hora e, posteriormente, à secagem acelerada em estufa a 100 °C por 24 horas, esse processo assegurou a fixação e a formação homogênea da película oleosa protetora sobre a superfície metálica. As amostras do Grupo 3 permaneceram em secagem natural por 24 horas, à temperatura ambiente, garantindo a cura completa do revestimento.

Esse protocolo buscou assegurar a integridade das camadas aplicadas, fator essencial para o desempenho anticorrosivo. Conforme Gentil (2012) e Panossian (2013), barreiras físicas como óleos e primers impedem o contato direto do metal com agentes agressivos e dependem da secagem e da cura adequadas para alcançar máxima eficiência protetiva.

#### **2.3.4 A imersão das peças na solução ácida ( $H_2SO_4$ )**

Para a preparação da solução corrosiva, utilizou-se um recipiente de vidro de 250 mL, no qual foram adicionados 200 mL de ácido sulfúrico de 1Mol ( $H_2SO_4$ ) seguidos de 50 mL de água destilada, formando a solução aquosa empregada nos ensaios de corrosão. Conforme Gentil (2012), a sequência correta de diluição do ácido em água é fundamental para garantir segurança e estabilidade da mistura.

Após o preparo, as amostras metálicas foram cuidadosamente introduzidas na solução ácida, assegurando que a imersão ocorresse de maneira uniforme e controlada. Esse procedimento visou preservar a integridade das superfícies e evitar reações localizadas que pudessem comprometer a confiabilidade dos resultados. De acordo com Panossian (1981), o controle do meio corrosivo é determinante para a reprodutibilidade dos ensaios experimentais.

As amostras dos três grupos experimentais foram separadas respectivamente com as de controle, óleo queimado e Zarcão, foram totalmente submersas na solução ácida e mantidas em recipientes vedados para evitar contaminações e perdas por evaporação. O tempo de exposição definido para a imersão das amostras foi de dez dias, totalizando 240 horas, sendo o mesmo aplicado a todos os grupos experimentais. Esse período foi considerado suficiente para a observação e análise dos resultados obtidos ao final do experimento.

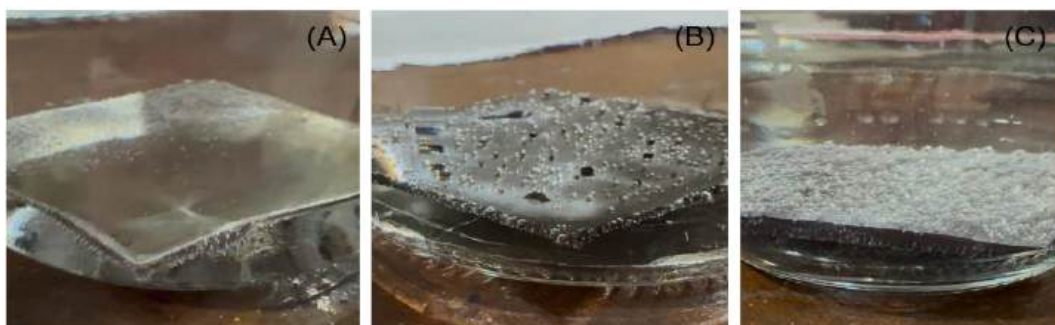
#### **2.3.5 A imersão das peças na solução de cloreto de sódio (NaCl)**

A metodologia adotada para esta etapa seguiu o mesmo procedimento descrito no item anterior. Para a preparação da solução salina, utilizou-se um recipiente de vidro com capacidade de 250 mL, no qual foram adicionados 200 mL de cloreto de sódio (NaCl) com concentração de 5% e 50 mL de água destilada, resultando em uma solução aquosa com alta condutividade iônica, adequada para a

simulação de um ambiente marinho ou úmido, conforme recomendado por Gentil (2012).

A seguir, na Figura 3, tem-se a representação experimental do modo como as amostras foram submersas.

Figura 3 - Amostras metálicas submersas em solução.



Fonte: Autora (2025).

Esse procedimento permitiu avaliar progressivamente a eficácia do óleo lubrificante queimado como barreira anticorrosiva, em comparação ao revestimento industrial Zarcão, observando-se o comportamento das amostras em diferentes intervalos de tempo. Durante todo o período experimental, teve-se o cuidado de manter os recipientes devidamente vedados, a fim de evitar a evaporação das soluções e possíveis contaminações externas. Segundo Gentil (2012) e Panossian (1981), o uso de soluções ácidas em ensaios de corrosão é amplamente adotado para acelerar o processo de degradação e permitir análises comparativas mais rápidas e confiáveis.

### **2.3.6 Avaliação econômica e ambiental**

No contexto deste estudo, realizou-se uma análise comparativa de custos e desempenho entre o óleo lubrificante queimado e o produto industrial Zarcão, adquirido no comércio local pelo valor de R\$29,99. O Zarcão é amplamente utilizado como fundo anticorrosivo em superfícies metálicas, composto por óxidos, solventes e resinas que favorecem a aderência e retardam a oxidação. Conforme Gentil (2012)

e Capello *et al.* (2015), tais formulações atuam na interrupção do circuito eletroquímico da corrosão, formando barreiras físicas de elevada eficiência protetiva.

O óleo lubrificante queimado, obtido gratuitamente em um ponto de troca automotiva, mostrou-se uma alternativa economicamente viável e ambientalmente favorável. A comparação considerou não apenas o custo de aquisição, mas também a eficiência em termos de durabilidade e resistência das camadas formadas. Segundo Ramos (2001) e Ramos (2008), o reaproveitamento do óleo residual reduz os custos industriais e mitiga os impactos ambientais associados ao descarte inadequado.

Adicionalmente, destaca-se o potencial ambiental e social do reaproveitamento do óleo queimado, que evita a contaminação de solos e corpos hídricos e diminui a dependência de compostos sintéticos. Conforme Nascimento (2022) e Ferreira (2021), tal prática está alinhada aos princípios da economia circular, promovendo o uso racional de recursos e incentivando estratégias sustentáveis de proteção anticorrosiva.

### **3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

A análise qualitativa foi conduzida a partir da variação de massa das amostras metálicas antes e após os períodos de imersão em solução ácida, possibilitando mensurar a eficiência dos revestimentos aplicados. Observou-se que as amostras tratadas com óleo lubrificante queimado apresentaram menor perda de massa em comparação às amostras sem revestimento, comportamento semelhante ao obtido com o Zarcão industrial. Esses resultados indicam que o óleo queimado, mesmo sendo um resíduo, forma uma barreira protetora capaz de reduzir a taxa de oxidação (GENTIL, 2012).

A comparação entre os grupos experimentais demonstrou que a eficiência do óleo queimado foi mais expressiva em ligas ferrosas, especialmente no aço carbono, devido à sua maior suscetibilidade ao ataque corrosivo. Essa constatação reforça o potencial do resíduo como alternativa viável e de baixo custo em contextos industriais, alinhando-se às práticas de sustentabilidade e economia circular recomendadas por Nascimento (2022).

#### **3.1 ANÁLISE DAS AMOSTRAS**

A Figura 4 evidencia o resultado obtido após a preparação das amostras e a conclusão de todas as etapas do procedimento, um exemplo de como ficou o acabamento de todas as amostras.

Figura 4 - Resultado da preparação das amostras.

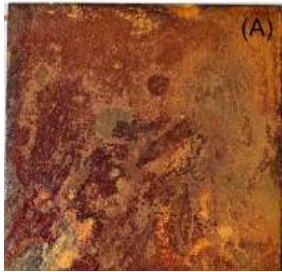
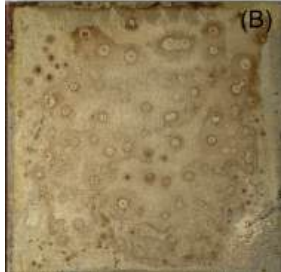
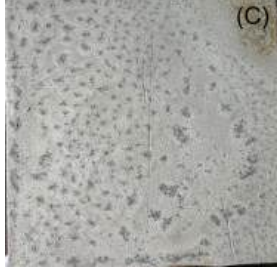
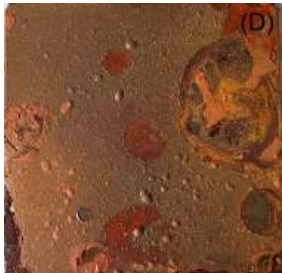
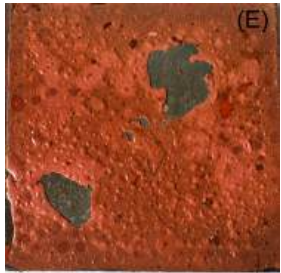
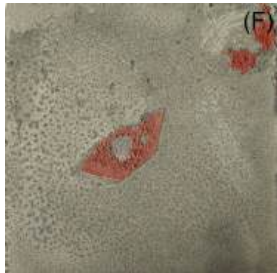


Fonte: Autora (2025).

Na Figura 4, é observado as amostras Figura 4 (A) aço carbono, Figura 4 (B) liga de alumínio e Figura 4 (C) aço inoxidável, constata-se a obtenção de superfícies notavelmente uniformes, lisas e isentas de quaisquer vestígios de oxidação ou contaminação. Esta condição ideal é o resultado direto da metodologia de preparo adotada, especificamente do lixamento sequencial, que promove a remoção controlada de material e a gradual refinação da rugosidade superficial, e da posterior higienização com álcool isopropílico, etapa crucial para a eliminação de óleos, graxas e partículas residuais. Esses procedimentos foram fundamentais para conferir às amostras um acabamento homogêneo e reproduzível, criando uma base superficial adequada e indispensável para a subsequente aplicação dos revestimentos, na qual a adesão e a qualidade do depósito são diretamente influenciadas pelo estado do substrato.

O Quadro 3 apresenta o comportamento das amostras de aço carbono, aço inoxidável e liga de alumínio após permanência de 10 dias totalmente submersas em solução de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). As Figuras (A), (B) e (C) correspondem às amostras revestidas com óleo lubrificante queimado, enquanto as Figuras (D), (E) e (F) representam as amostras recobertas com Zarcão industrial.

Quadro 3: Amostras que ficaram submersas em ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

ANTICORROSIVO	AÇO CARBONO	AÇO INOXIDÁVEL	LIGA DE ALUMÍNIO
Óleo queimado			
Zarcão Industrial			

Fonte: Autora 2025.


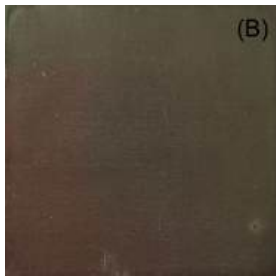
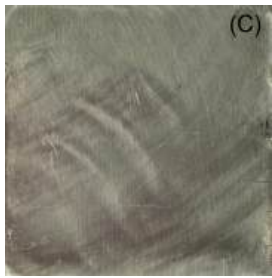
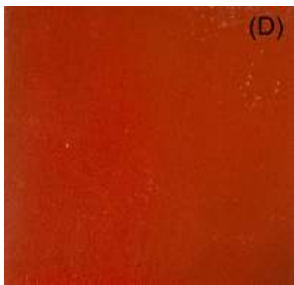
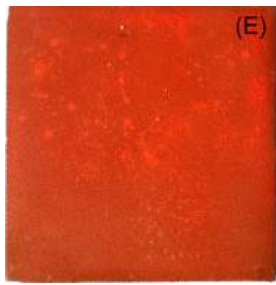
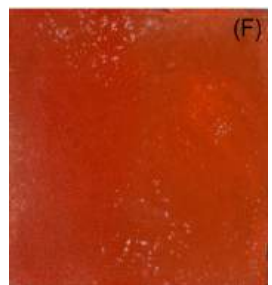
No caso do aço carbono, observa-se no Quadro 3 Figura (A) que a barreira oleosa formada pelo óleo queimado foi completamente incapaz de proteger o substrato, resultando em um padrão de corrosão geral uniforme. Esse comportamento ocorre porque o filme oleoso possui apenas caráter físico, com baixa aderência e sem capacidade de formar barreira eletroquímica, uma vez que óleos protetivos não resistem a ambientes altamente ácidos e têm sua eficácia limitada à proteção atmosférica (W-TECH BRASIL, 2022). Em contato com o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, o óleo é facilmente deslocado ou permeado, expondo o metal ao ataque direto do meio corrosivo, levando à dissolução progressiva do ferro. Em contrapartida, no Quadro 3 Figura (D) mostra que o Zarcão apresentou desempenho superior: embora tenham ocorrido regiões onde o revestimento foi parcialmente removido, não foram observados sinais de oxidação ou corrosão nas áreas expostas. Isso ocorre porque o Zarcão é um primer anticorrosivo formulado com pigmentos à base de óxidos metálicos que atuam como barreira física e eletroquímica, reduzindo a penetração de agentes agressivos e retardando o início da corrosão (OBRAMAX, 2023). Para o aço inoxidável, no Quadro 3 Figura (B) o mecanismo ocorre pela dissolução da camada passiva composta majoritariamente por óxido de cromo Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Conforme Gentil (2012), ácidos fortes como o sulfúrico são capazes de desestabilizar filmes

passivos ao aumentar a solubilidade dos íons metálicos, principalmente cromo e ferro. Fontana (1986) complementa que ânions agressivos podem penetrar micro defeitos da película passiva, desencadeando corrosão localizada e intensificando a despassivação. Em meios contendo  $H_2SO_4$ , o aço inox perde rapidamente sua proteção natural, tornando-se suscetível à corrosão generalizada e por pitting, conforme diagramas de Kruger (2001) e pontos de ataque nas bordas da amostra revestida apenas com óleo queimado. Em comparação, no Quadro 3 Figura (E) apresenta regiões onde o ácido removeu a película do Zarcão; entretanto, mesmo nas áreas expostas, não houve evolução de corrosão visível, indicando que a proteção inicial do revestimento retardou a ação corrosiva e manteve a integridade superficial do aço inoxidável.

Quanto à liga de alumínio, verifica-se no Quadro 3 Figura (C) a presença de pontos concentrados de corrosão, inclusive com formação de pitting. Isso ocorre porque o alumínio possui alta reatividade em meio ácido, e a camada de óxido natural ( $Al_2O_3$ ) é facilmente destruída pelo  $H_2SO_4$ , conforme descrito na literatura sobre corrosão em ambientes ácidos Santos (2019). Como o óleo queimado não oferece aderência e impermeabilidade adequadas, o ataque ácido se instala rapidamente. Já no Quadro 3 Figura (F), apesar de o ácido ter removido praticamente toda a película de Zarcão, não foram observados sinais de oxidação ou corrosão na superfície metálica. Isso se explica pelo fato de o Zarcão ter retardado o contato inicial do ácido com o metal, permitindo que o alumínio formasse uma nova camada passiva logo após a perda do revestimento, o que conferiu proteção temporária Resol Química (2023).

O Quadro 4 apresenta o comportamento das amostras metálicas após a imersão por 10 dias em solução de (NaCl), permitindo avaliar o desempenho do óleo lubrificante queimado e do Zarcão industrial como barreiras protetoras em meio salino, o cloreto de sódio possui caráter corrosivo moderado e atua principalmente por mecanismos de ataque localizado, especialmente em materiais que dependem de camadas passivas, como o alumínio e o aço inoxidável.

Quadro 4: Amostras que ficaram submersas em cloreto de sódio (NaCl)

ANTICORROSIVO	AÇO CARBONO	AÇO INOXIDÁVEL	LIGA DE ALUMÍNIO
Óleo queimado			
Zarcão Industrial			

Fonte: Autora (2025).

No caso do aço carbono, observa-se no Quadro 4 Figura (A) e (D) que não houve formação de produtos de corrosão visíveis, indicando eficiência dos dois revestimentos. O bom desempenho do óleo queimado nesse ambiente explica-se pelo fato de que a solução salina apresenta agressividade moderada, incapaz de romper o filme hidrofóbico quando este permanece íntegro e aderido à superfície (W-TECH BRASIL, 2022).

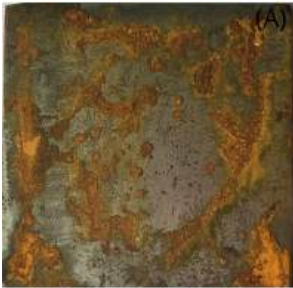

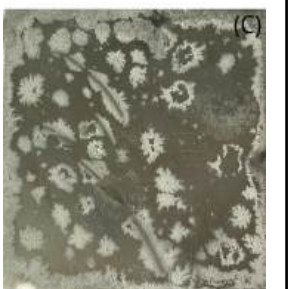

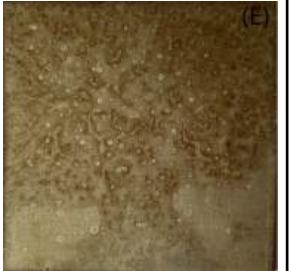
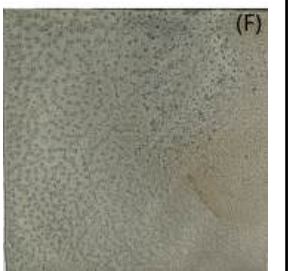
A proteção conferida pela aplicação do óleo ocorre porque ele forma uma barreira física contínua, de natureza hidrofóbica, que reduz drasticamente a interação entre o meio corrosivo e a superfície do metal, como o óleo queimado apresenta baixa polaridade, ele repele moléculas de água e íons dissolvidos, especialmente íons cloreto, essa barreira hidrofóbica impede que o eletrólito estabeleça um caminho condutor entre diferentes pontos da superfície metálica, o que é essencial para a formação de uma pilha eletroquímica. Sem esse contato, há uma redução significativa da taxa de oxidação anódica, uma vez que a transferência de elétrons torna-se limitada. Segundo Capello *et al.* (2015), películas oleosas funcionam como revestimentos de baixa energia superficial, dificultando a absorção de espécies agressivas no metal. Isso reduz a capacidade dos cloretos de penetrar microfissuras e iniciar pites, mecanismo amplamente descrito por Fontana (1986) e

Kruger (2001) em seus estudos sobre corrosão por cloretos. O Zarcão, por sua vez, apresentou excelente manutenção da integridade superficial, reforçando seu papel como primer anticorrosivo baseado em pigmentos inibidores de corrosão (OBRAMAX, 2023). Para o aço inoxidável, no Quadro 4 Figuras (B) e (E) mostram que ambas as camadas protetoras mantiveram o metal livre de pitting ou escurecimento característico da ação de cloretos. Em meio salino, o filme oleoso permanece funcional, uma vez que os cloretos não possuem energia suficiente para deslocar ou degradar a película hidrofóbica (IGL COATINGS, 2015). Além disso, embora os íons sejam conhecidos por atacarem a camada passiva do aço inoxidável, esse ataque não ocorre se houver uma barreira contínua impedindo o contato do eletrólito com o metal. A película de Zarcão também demonstrou estabilidade, apresentando apenas pequenas manchas brancas que, de acordo com a literatura, são depósitos salinos formados pelo processo de evaporação da solução e não representam corrosão (OLIVEIRA, 2013).

No caso da liga de alumínio, no Quadro 4 Figura (C) e (F) mostram que não houve corrosão visível nem formação de pitting. Embora seja conhecido que cloretos podem romper a camada passiva de óxido de alumínio  $Al_2O_3$ , isso só ocorre quando o eletrólito alcança diretamente a superfície metálica Santos (2019). Tanto o óleo queimado quanto o Zarcão impediram esse contato, o alumínio permaneceu protegido. O bom desempenho do óleo queimado nesse meio ocorre porque o NaCl não é suficientemente agressivo para deslocar filmes hidrofóbicos ou degradar a camada superficial formada por óleos protetivos (W-TECH BRASIL, 2022). As manchas brancas observadas nas amostras com Zarcão no Quadro 4 Figuras (D), (E) e (F) são depósitos de cloreto cristalizado após a secagem e não representam falha do revestimento.

O Quadro 5 apresenta as amostras metálicas submetidas aos ensaios de corrosão sem a aplicação de qualquer barreira protetora, funcionando como controle experimental. Esse conjunto permite avaliar o comportamento natural dos metais.

Quadro 5: Amostras de controle

CONTROLE	AÇO CARBONO	AÇO INOXIDÁVEL	LIGA DE ALUMÍNIO
Cloreto de sódio (NaCl)			
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )			

Fonte: Autora (2025).

Nas amostras imersas em solução de NaCl, representado no Quadro 5 Figuras (A), (B) e (C), observa-se a presença marcante de pitting, especialmente no aço inoxidável e na liga de alumínio. Esse ataque localizado ocorre porque os íons cloreto são particularmente agressivos frente a metais que dependem de camadas passivas finas para sua proteção natural, como o óxido de cromo no inoxidável e o óxido de alumínio no alumínio (IGL COATINGS, 2015; SANTOS, 2019). No aço carbono, embora a corrosão seja mais generalizada, pequenas regiões de pitting também se formam devido à ação penetrante do cloreto. No caso do alumínio no Quadro 5 Figura (C), o pitting é especialmente severo, levando à perda real de material, já que o ataque por cloreto rompe a passividade e aprofunda-se rapidamente, formando cavidades visíveis e irregulares, um fenômeno amplamente documentado por Oliveira (2013). Nas amostras de controle expostas ao ácido sulfúrico, no Quadro 5 Figuras (D), (E) e (F), observa-se corrosão generalizada intensa em todos os metais, sem proteção localizada ou resistência superficial. O ácido sulfúrico reage diretamente com o substrato metálico, destruindo imediatamente qualquer película passiva e promovendo a formação acelerada de produtos de corrosão. No aço carbono, o comportamento está associado à reação direta entre ferro e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, resultando na dissolução progressiva do metal (W-TECH

BRASIL, 2022). No aço inoxidável, a camada de óxido de cromo perde estabilidade instantaneamente, permitindo um ataque uniforme e profundo. Já no alumínio apresentado no Quadro 5 Figura (F), a película natural de  $Al_2O_3$  é completamente dissolvida, levando à formação de uma superfície degradada e com evidente perda de integridade estrutural, conforme já discutido na literatura para metais expostos a ácidos fortes de acordo com (RESOL QUÍMICA, 2023).

### 3.2 RESULTADO DA ANÁLISE QUALITATIVA

A análise qualitativa das amostras expostas ao  $H_2SO_4$  evidenciou diferenças nítidas entre os revestimentos. O óleo queimado apresentou deterioração visual acentuada, com corrosão uniforme no aço e pitting no alumínio, resultado da baixa resistência do filme oleoso em ambientes fortemente ácidos (W-TECH BRASIL, 2022; OLIVEIRA, 2013). Em contraste, o Zarcão manteve aspecto estável, exibindo apenas pequenos desprendimentos da película, sem sinais de corrosão ativa nas áreas expostas, confirmando seu comportamento como barreira eletroquímica eficiente em meio agressivo (OBRAMAX, 2023; RESOL QUÍMICA, 2023).

Nos ensaios realizados em solução de NaCl, a observação visual mostrou desempenho satisfatório de ambos os revestimentos. O óleo queimado preservou superfícies homogêneas, sem pitting ou oxidação, indicando boa aderência do filme hidrofóbico e capacidade de bloquear a ação moderada dos íons cloreto (IGL COATINGS, 2015; W-TECH BRASIL, 2022). De forma semelhante, o Zarcão permaneceu íntegro, apresentando apenas manchas brancas decorrentes da cristalização do cloreto, efeito superficial e não corrosivo, segundo Resol Química (2023). Nenhuma das amostras revestidas apresentou indícios de ataque corrosivo nesse meio.

As amostras de controle, sem aplicação de proteção, reforçam qualitativamente a eficiência dos revestimentos. No ambiente ácido, todos os metais sofreram intensa corrosão, com dano visível e rapidamente progressivo, refletindo a elevada agressividade do  $H_2SO_4$  (OLIVEIRA, 2013). Já na solução salina, observou-se corrosão localizada, principalmente pitting no aço inoxidável e no alumínio, com perda de material, comportamento típico da ação dos íons cloreto conforme descrito por Santos (2019). De modo geral, os resultados qualitativos mostram que o óleo queimado é eficaz em ambiente salino, mas inadequado em

meio ácido, enquanto o Zarcão demonstrou performance superior e mais consistente em ambos os meios, reforçando a importância da análise visual na compreensão da durabilidade dos revestimentos (GENTIL, 2012).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente estudo comparou o desempenho do óleo lubrificante queimado e do Zarcão industrial como barreiras anticorrosivas aplicadas em aço carbono, aço inoxidável e liga de alumínio, expostos a soluções de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) e cloreto de sódio (NaCl). A análise permitiu compreender como diferentes tipos de revestimentos respondem a meios agressivos e como as características intrínsecas das ligas influenciam seu comportamento frente ao processo corrosivo. A adequada preparação superficial das amostras, especialmente o lixamento sequencial e padronizado, foi fundamental para garantir a reprodutibilidade dos ensaios, conforme orientado por estudos e práticas industriais que destacam a importância da uniformização das superfícies metálicas.

Os resultados evidenciaram que, em meio ácido, o óleo lubrificante queimado apresentou desempenho limitado, devido à baixa resistência de filmes hidrofóbicos frente a eletrólitos de forte caráter oxidante. Em contato com  $H_2SO_4$ , a película oleosa foi rapidamente removida, expondo diretamente o substrato metálico e favorecendo corrosão intensa, especialmente no aço carbono e no alumínio. Tal comportamento é consistente com observações técnicas sobre a incapacidade de filmes orgânicos simples de resistirem a ambientes severamente ácidos. Em contrapartida, o Zarcão industrial demonstrou desempenho superior, retardando a penetração do ácido mesmo quando ocorreram falhas pontuais na camada protetora. Essa resistência inicial é fundamental para minimizar o ataque corrosivo e está alinhada com o funcionamento esperado de primers anticorrosivos formulados para condições agressivas.

Nos ensaios em solução salina de NaCl, tanto o óleo queimado quanto o Zarcão apresentaram proteção eficiente. O filme hidrofóbico do óleo, ao impedir o contato direto dos íons cloreto com a superfície metálica, evitou a formação de pitting, fenômeno amplamente descrito em ligas de alumínio quando a superfície encontra-se desprotegida. O aço inoxidável também permaneceu estável sob ambos

os revestimentos, o que é coerente com estudos que apontam que os íons cloreto só conseguem modificar a camada passiva quando alcançam diretamente o metal.

O Zarcão igualmente apresentou desempenho adequado em ambiente salino, reforçando sua eficiência como barreira física e eletroquímica para proteção de ligas expostas a eletrólitos de moderada agressividade.

O estudo demonstra que o Zarcão industrial apresenta o melhor desempenho global, especialmente em ambientes fortemente ácidos. Entretanto, o óleo lubrificante queimado se mostrou alternativa sustentável e eficaz em meio salino, apresentando proteção equivalente ao revestimento industrial quando exposto à solução de NaCl. Isso o torna uma opção tecnicamente viável e ambientalmente favorável em aplicações onde a agressividade do meio não seja extrema, alinhando proteção anticorrosiva a práticas de reaproveitamento de resíduos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIOTECC. **O uso do álcool isopropílico para a integridade dos processos industriais.** Curitiba: Biotecc, 28 jul. 2025. Disponível em: <https://www.biotecc.com.br/post/o-uso-do-alcool-isopropilico-para-a-integridade-dos-processos-industriai>. Acesso em: 03 nov. 2025.

CAPELLO, A.; PAULA, A. M. A.; PRADELLA, A. M.; GRANDO, M. L. **Reaproveitamento do óleo lubrificante: uma solução para o futuro.** Revista Tecnológica, 2015.

DESIDERATO, Paulo Renato Moretti. **Rerrefino de óleo lubrificante usado.** 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Bauru, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/21fbcf70-17b7-493d-8ca6-7f0e4df1b0ca>. Acesso em: 10 set. 2025.

FERREIRA, Bernardo Soares Pereira. **Revisão bibliográfica sobre a gestão e reutilização do óleo lubrificante industrial visando sua posterior aplicação em elementos externos das máquinas-ferramentas.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/13022>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FONTANA, Mars Guy. **Corrosion Engineering.** 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1986.

GENTIL, Vicente. **Corrosão.** 6. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2012.

KRUGER, Jerome. **Electrochemistry of corrosion.** Electrochemistry Encyclopedia, The Electrochemical Society (ECS), abr. 2001. Disponível em:

<https://knowledge.electrochem.org/encycl/art-c02-corrosion.htm>. Acesso em: 14 nov. 2025.

NASCIMENTO, I. R. D. **Óleo lubrificante usado ou contaminado e resíduos associados: diagnóstico, estimativa e perspectivas de um ambiente sustentável**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/46182>. Acesso em: 14 jun. 2025.

OBRAMAX. **Zarcão: para que serve, como aplicar e tipos**. 2023. Disponível em: <https://blog.obramax.com.br/max-ensina/zarcao/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

PANOSSIAN, Z. **Estudo da corrosão de aços carbono em meio ácido**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1981.

PEREIRA, W. G. et al. **Estudo da corrosão do aço-carbono em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: efeito da adição de íons sulfato**. Matéria, Rio de Janeiro, 2024.

PG PACK. **O combate à corrosão**. Curitiba: PG Pack, 26 ago. 2022. Disponível em: <https://www.pgpack.com.br/o-combate-a-corrosao/>. Acesso em: 04 nov. 2025.

PPG INDUSTRIAL DO BRASIL TINTAS E VERNIZES LTDA. Boletim técnico – **Fundo anticorrosivo Zarcão**. Gravataí, RS: PPG Industrial do Brasil, revisão 02, set. 2021. Disponível em: [https://catalogs.cassol.com.br/Arquivos/Cliente/1\\_cassol/Arquivos/627e820d24793\\_Fundo\\_Anticorrosivo\\_Zarcao.pdf](https://catalogs.cassol.com.br/Arquivos/Cliente/1_cassol/Arquivos/627e820d24793_Fundo_Anticorrosivo_Zarcao.pdf). Acesso em: 03 nov. 2025.

RAMANATHAN, L. V. **Corrosão e seu controle**. São Paulo: Editora Lemus, 1990.

RAMOS, A. A. P. **Estudo sobre o processo de reciclagem do lubrificante a nível industrial**. 2008. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RAMOS, P. **Reciclagem de óleos lubrificantes**. Revista do Meio Ambiente Industrial, São Paulo, p. 124–132, 2001.

RESOL QUÍMICA. **Zarcão: o que é, para que serve e como aplicar este primer tradicional**. 2023. Disponível em: <https://www.resolquimica.com.br/blog/zarcao-o-que-serve-e-como-aplicar-este-primer-tradicional/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

Resolução CONAMA nº 362, de 23 de junho de 2005. **Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado**. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=457](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=457). Acesso em: 21 out. 2025.

SANTOS, I. C. **Corrosão de materiais metálicos em soluções ácidas: mecanismos e formas de proteção**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/server/api/core/bitstreams/7f431619-f3bd-494f-9c41-e9573c67dd95/content>. Acesso em: 13 nov. 2025.

SENEFRESA. **A importância do lixamento de peças metálicas.** Disponível em: <https://www.senefresa.com.br/lixamento-pecas>. Acesso em: 14 nov. 2025.

SINDIRREFINO – Sindicato Nacional da Indústria de Refino de Óleos Minerais. **A externalidade positiva da atividade de rerrefino: efeitos sociais, ambientais e econômicos.** Disponível em: <https://static-sindirrefino-prod.s3.amazonaws.com/upload/arquivosparadownload/00001887.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.

W-TECH BRASIL. **Eficiência de óleos protetivos em ambientes corrosivos.** Disponível em: <https://www.wtechbrasil.com.br/>. Acesso em: 14 nov. 2025.

W-TECH BRASIL. **O que é óleo com proteção contra ferrugem?** 2022. Disponível em: <https://w-techbrasil.com.br/glossario/o-que-e-oleo-com-protecao-contraferrugem/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

WANG, C. et al. **Study on the pitting corrosion behavior of aluminum alloys in salt spray tests.** Journal of Materials Research and Technology, v. 19, p. 2314–2325, 2022.

WANG, J. et al. **Chloride-induced alterations of the passive film on stainless steels in saline environments.** Electrochimica Acta, v. 299, p. 861–870, 2019.

WICAKSONO, T. A. et al. **Effects of immersion in NaCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions on corrosion behaviour.** Research on Engineering Structures and Materials, v. 9, n. 3, 2023. Disponível em: <https://jresm.org/wp-content/uploads/resm2023.695ma0220.pdf>. Acesso em: 20 out. 2025.

WORLD CORROSION ORGANIZATION. **Impact of corrosion on the global economy.** New York: WCO, 2021. Disponível em: <https://www.worldcorrosion.org>. Acesso em: 24 out. 2025