UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE-FURG
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

JACKSON OLIVEIRA PEREIRA

ESTUDO DE CORROSÃO EM UM LAVADOR DE GÁS NO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE PAPEL MELAMÍNICO

RIO GRANDE
2025

JACKSON OLIVEIRA PEREIRA

ESTUDO DE CORROSÃO EM UM LAVADOR DE GÁS NO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE PAPEL MELAMÍNICO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande-FURG como requisito para obtenção do título de "Mestre em Engenharia Mecânica" – Área de Concentração: Engenharia de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Luciano Biehl.

RIO GRANDE, RS

2025

Ficha Catalográfica

P436e Pereira, Jackson Oliveira.
Estudo de corrosão em um lavador de gás no processo de impregnação de papel melamínico / Jackson Oliveira Pereira. – 2025.
56 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Rio Grande/RS, 2025.
Orientador: Dr. Luciano Biehl.

1. Lavador de gás 2. Corrosão 3. pH 4. Vida útil I. Biehl, Luciano II. Título.

CDU 621

Catalogação na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

Ata n° **05/2025** da Defesa de Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Aos vinte e cinco dias do mês de julho de dois mil e vinte e cinco, foi instalada a Banca de Defesa de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, às quatorze horas e trinta minutos, online via web conferência, a que se submeteu o mestrando **JACKSON OLIVEIRA PEREIRA**, nacionalidade brasileiro, dissertação ligada a linha de pesquisa de Engenharia de Soldagem e Materiais, com o seguinte título: **ESTUDO DE CORROSÃO EM UM LAVADOR DE GÁS NO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO DE PAPEL MELAMÍNICO** Referendada pela Câmara Assessora do Curso, os seguintes Professores Doutores: Luciano Volcanoglo Biehl, Jorge Luis Braz Medeiros e o convidado José de Souza sob a presidência do Professor Luciano Volcanoglo Biehl. Analisando o trabalho, os Professores da Banca Examinadora o consideraram:

1. Luciano Volcanoglo Biehl: APROVADO
2. Jorge Luis Braz Medeiros: APROVADO
3. José de Souza: APROVADO

Foi concedido um prazo de 30 dias para o candidato efetuar as correções sugeridas pela Comissão Examinadora (anexo) e apresentar o trabalho em sua redação definitiva, sob pena de não expedição do Diploma. A ata foi lavrada e vai assinada pelos membros da Comissão.

Assinaturas:

1. _____
CPF: 575.195.100-00

Documento assinado digitalmente
gov.br LUCIANO VOLCANOGLO BIEHL
Data: 25/07/2025 15:12:45-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

2. _____
CPF: 588.871.210-87

Documento assinado digitalmente
gov.br JORGE LUIS BRAZ MEDEIROS
Data: 25/07/2025 16:07:23-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

3. _____
CPF: 914.626.140-00

Documento assinado digitalmente
gov.br JOSE DE SOUZA
Data: 25/07/2025 15:39:47-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Documento assinado digitalmente
gov.br JACKSON OLIVEIRA PEREIRA
Data: 29/07/2025 20:21:17-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Jackson Oliveira Pereira: _____

DEDICATÓRIA

À minha família, minha razão de viver!

AGRADECIMENTOS

Agradeço e a minha esposa e filha pela paciência e apoio nesse período de dedicação ao mestrado;
Aos meus pais por entenderem a minha ausência em festas de família;
Agradeço ao meu gestor, gerente e diretor da Fibraplac, por permitir-me dedicar ao estudo e, principalmente por justificar a minha ausência em períodos necessários;
À equipe do laboratório da empresa Fibraplac pela disposição e apoio na coleta de materiais para as análises realizadas nesse projeto;
Agradeço também aos professores do curso de mestrado pelo aprendizado e conhecimento transmitido que serviu como embasamento para a construção deste mestrado;
Em especial, agradeço ao Dr Luciano Biehl por ser o meu coordenador, me direcionar durante todo este estudo e, acima de tudo, por ser meu orientador na dissertação;
Agradeço também ao senhor Andreas Elter, por ter me esperado durante o período de transição de empresa respeitando as minhas necessidades dentro do mestrado;
Agradeço ao meu amigo Alisson Pinheiro que foi um incentivador dentro do programa de mestrado de engenharia mecânica;
A todos estes os meus sinceros agradecimentos, pois cada um me permitiu construir este estudo.

RESUMO

A poluição atmosférica tem se tornado um tema cada vez mais discutido globalmente devido às questões sanitárias e ambientais envolvidas. Para minimizar os impactos da poluição gerada pelas indústrias, diversos equipamentos têm sido desenvolvidos, entre eles os lavadores de gases. Esses dispositivos operam pulverizando um líquido de lavagem, que captura partículas sólidas e solubiliza gases poluentes presentes no fluxo gasoso. Por se tratarem de equipamentos que funcionam em regime contínuo, os lavadores de gases estão sujeitos a desgastes naturais, sendo a corrosão um dos principais desafios enfrentados, especialmente quando há falta de manutenção adequada. Este estudo investiga os mecanismos de corrosão em um lavador de gás utilizado no processo de impregnação de papel melamínico. Foram analisadas variáveis operacionais, condições do fluído de lavagem e aspectos de projeto do equipamento. Os resultados indicam que a redução do pH do fluído e a escolha inadequada de materiais contribuíram significativamente para o desgaste prematuro do lavador. São propostas estratégias de mitigação visando aumentar sua durabilidade e eficiência.

Palavras-chave: lavador de gás; corrosão; pH; vida útil.

ABSTRACT

Air pollution has become an increasingly discussed topic globally due to the health and environmental concerns involved. To minimize the impacts of pollution generated by industries, various equipment has been developed, including gas scrubbers. These devices operate by spraying a scrubbing liquid, which captures solid particles and solubilizes polluting gases present in the gas stream. Because they are equipment that operates continuously, gas scrubbers are subject to natural wear and tear, with corrosion being one of the main challenges, especially when there is a lack of proper maintenance. This study investigates the corrosion mechanisms in a gas scrubber used in the melamine paper impregnation process. Operating variables, scrubbing fluid conditions, and equipment design aspects were analyzed. The results indicate that reducing the fluid's pH and improper material selection significantly contributed to the scrubber's premature wear. Mitigation strategies are proposed to increase its durability and efficiency.

Keywords: gas scrubber; corrosion; pH; service life.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corrosão de placas de zinco, cobre, aço não ligado e alumínio em diferentes locais na Alemanha. 19
Figura 2 - Taxa de corrosão do aço carbono em diferentes condições 22
Figura 3 - Curva de crescimento de fissura por corrosão e fadiga do corpo de prova. 23
Figura 4 - Medições comparativas entre taxa de evolução de hidrogênio (a) em comparação a perda de peso (b), ou seja (processo corrosivo) 27
Figura 5 - Imagem de um substrato metálico nu (a) em comparação ao substrato revestido com monocamadas (b, c e d) 28
Figura 6 - Planta do lavador de gás 30
Figura 7 - Processo de impregnação de papel melamínico 32
Figura 8 - Forno de secagem do processo de impregnação de papel melamínico. . 33
Figura 9 - Fluxograma metodológico 34
Figura 10 - Composição do lavador de gás 35
Figura 11 – Recipiente para coleta da água da chuva 37
Figura 12 - Coleta de água de alimentação e circulação do lavador de gás 37
Figura 13 - Armazenamento de água para encaminhar para o laboratório 38
Figura 14 - Turbidímetro 39
Figura 15 - Phmetro 40
Figura 16 - Condutivímetro 41
Figura 17 - Kit de Análise de cloro livre 42
Figura 18 - Titulação com Nitrato de Prata a 0,1N 43
Figura 19 - Resultado da análise de turbidez durante 15 dias 44
Figura 20 - Resultados das análises de pH 45
Figura 21 - Resultados da análise de condutividade. 45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos de corrosão e manutenção na indústria de alimentos e de energia elétrica 16
Tabela 2 - Tipo de manutenção realizada na indústria de energia elétrica e de alimentos 17
Tabela 3 – Tipos de corrosão encontrada na indústria de energia elétrica e de alimentos respectivamente: 17
Tabela 4 - Métodos de controle a corrosão na indústria de energia elétrica e de alimentos respectivamente 18
Tabela 5 - Regiões da Alemanha que apresentam diferentes concentrações de cloreto e sulfato. 19
Tabela 6 - Condutividade elétrica em diferentes pH 21
Tabela 7 - Custo de lavadores de gases de diferentes materiais e sua vida útil 25
Tabela 8 - Capacidade do lavador de gás cotado 25
Tabela 9 - Dados hidráulicos do lavador de gás 31
Tabela 10 - Dados do ventilador 32
Tabela 11 - Dados do motor do ventilador 32

LISTA DE ABREVIATURAS

DRX - Difração de raios x

ISO - International Organization for Standardization

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

NTU - Unidade Nefelométricas de Turbidez

PIB - Produto Interno Bruto

Raios DRX - Difração de Raios-X

SPK - Sonda Kelvin de Varredura

SSRT - Teste de Taxa de Deformação Lenta

SWAAT - Teste de Água do Mar Sintética Acidificada ASTM G85:A3

LISTA DE SÍMBOLOS

ºC – grau Celsius

$Ca(OH)_2$ - Hidróxido de cálcio

CO_2 - Dióxido de carbono

Fe_3O_4 - Óxido de ferro (II, III)

HvOF-10Co-4Cr - High Velocity Oxygen Fuel-10%Cobalto-4%Cromo

Mg-3W%Sr - Magnésio (Mg), Tungstênio (W) e Estrôncio (Sr)

Mg-Sr-Zn - Magnésio (Mg), Estrôncio (Sr) e Zinco (Zn)

MS - Milisiemens

NaCl - Cloreto de sódio

NaOH - Hidróxido de sódio

pH - Partícula de Hidrogênio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 Objetivo geral 15
1.2 Objetivos Específicos 15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA OU ESTADO DA ARTE 16
2.1 Corrosão em Equipamentos Industriais 16
2.2 Corrosão em Diferentes pH 20
2.3 Taxas de Corrosão em Diferente Temperaturas 21
2.4 Análise Econômica sobre a Instalação de Equipamentos Industriais e Lavadores de Gases 24
2.5 Eficiência dos Métodos de Proteção em Equipamentos Industriais 26
3 METODOLOGIA 30
3.1 Materiais 30
3.2 Métodos 34
3.2.1 Histórico do Equipamento 35
3.2.2 Corrosão Interna 36
3.2.3 Corrosão Externa 36
3.2.4 Análise do fluido utilizado do lavador de gás 36
3.2.5 Coleta das Águas 37
3.3 Análises 38
3.3.1 Análise de Turbidez 39
3.3.2 Análise de pH 40
3.3.3 Análise de Condutividade 40
3.3.4 Análise de Cloro livre 41
3.3.5 Análise de Cloretos 42
4 RESULTADOS 44
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 47
6 CONCLUSÕES 50
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 52
REFERÊNCIAS 53
REFERÊNCIAS POR DATA, QUALIS E ESTRATO 56

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica industrial vem atraindo uma preocupação global nos últimos anos, principalmente pelas doenças relacionadas à poluição do ar, aumentando consideravelmente os custos com saúde (ZENG, 2019). A poluição atmosférica também afeta a agricultura causando uma redução no rendimento da colheita de duas formas: os poluentes que perturbam as reações químicas e fisiológicas das plantas até determinado ponto e a chuva ácida, gerada pelos poluentes, causando a degradação do solo e a redução da concentração de nutrientes. Esses impactos são acumulativos e permanentes (WEI, 2021).

No intuito da redução da emissão de poluentes gasosos, é comum o uso de lavadores de gases industriais, esses equipamentos reduzem a emissão de contaminantes químicos (NOGUERA *et al*, 2002). Os lavadores de gases são equipamentos que possuem uma alta eficiência na remoção de contaminantes, isso sendo possível devido ao contato de gotas de água que descem de forma lenta e o gás que sobe em alta velocidade, fixando o gás poluente na gota de água, indo para a atmosfera o vapor já lavado (AZZOPARDI, 1993).

Devido às estruturas industriais ficarem expostas ao meio ambiente e a poluição, os mesmos são suscetíveis a deterioração e a corrosão, não sendo diferente no caso dos lavadores de gases industriais (VALDEZ, 2012). Os estudos sobre a corrosão se fazem necessário devido a degradação de estruturas e equipamentos, resultando em altos custos para o governo e principalmente para as indústrias que tem que reformar e muitas vezes substituir equipamentos, tendo gastos com perdas de produtos e reparos, sendo que no Estados Unidos por exemplo, gasta-se em torno de 276 bilhões de dólares por ano com reparo de equipamentos por corrosão (KOCH *et al*, 2005). Já na China os custos por corrosão são ainda maiores, chegando a 310 bilhões de dólares com corrosão, representando 3,84% do produto interno bruto (HOU *et al*, 2017).

Justifica-se a importância deste estudo, para compreender como diferentes materiais reagem a ambientes corrosivos específicos. Isto permite aos engenheiros projetar equipamentos mais robustos e eficientes para garantir a segurança operacional, a eficiência do processo e a sustentabilidade econômica de diversas plantas industriais.

Em relação à segurança, esses equipamentos lidam frequentemente com gases quentes, ácidos e corrosivos. A degradação do material, como a perda de espessura de parede ou a formação de trincas, pode levar a falhas e liberar substâncias tóxicas ou perigosas no ambiente, colocando em risco a saúde dos trabalhadores e a comunidade local. A adoção de medidas preventivas só é possível diante da identificação dos mecanismos de degradação.

Já na eficiência do processo e na sustentabilidade econômica, um estudo técnico aprofundado sobre a corrosão permite a escolha de materiais mais resistentes e a implementação de estratégias de proteção (como revestimentos ou inibidores de corrosão), prolongando a vida útil do equipamento e reduzindo os custos de manutenção a longo prazo.

1.1 Objetivo geral

Analisar os mecanismos de corrosão presentes em lavador de gás utilizado no processo de impregnação de papel melamínico, identificando suas causas e propondo soluções técnicas de mitigação, tendo em vista que a perda do equipamento, ou seja, uma parada do mesmo, acarretará prejuízos econômicos do ponto de vista de produção de papel melamínico e também ambientais devido ao material particulado que poderá ir para a atmosfera caso a linha de impregnação opere sem o equipamento.

1.2 Objetivos Específicos

A partir da determinação do tipo de corrosão existentes no estudo do lavador de gás, são objetivos específicos deste estudo:

a) Analisar o grau de corrosão da junção inox/aço carbono;

b) Identificar e analisar as variáveis que estão influenciando na corrosão;

c) Propor alternativas de materiais ou proteção.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA OU ESTADO DA ARTE

2.1 Corrosão em Equipamentos Industriais

A corrosão é um assunto que vem sendo debatido em âmbito global, onde vários estudos apontam que o impacto econômico mundial representa 3,5% do PIB.

Mesmo com os investimentos em novos materiais e métodos de prevenção, os problemas com corrosão se mantêm constantes, estimando um gasto de 2,5 trilhões de dólares ano, porém o estudo traz que cerca de 30% desses custos poderiam ser evitados usando métodos conhecidos, podendo com esses métodos ser economizados em torno de 875 bilhões de dólares (ROSE, 2008) e (KOCH, 2017).

O problema da corrosão, se agrava ainda mais nas plantas industriais, como por exemplo a indústria petroquímica, onde o estudo de Tems e Al-Zahrani (2006), verificou que 25% do custo total de manutenção é destinado para reparos e métodos de controles a corrosão.

Os custos em reparos e manutenções relacionadas a corrosão costumam ser astronômicos. Aponte *et al* (2008) propôs em seus estudos, medir o tipo e o custo total da corrosão baseado em ordens de serviço, em duas indústrias distintas, uma indústria de alimentos e outra, em uma indústria geradora de energia elétrica, tendo levantado na pesquisa, 224 ordens de serviço na indústria geradora de energia elétrica e 335 ordens de serviço na indústria de alimentos, resultando nos seguintes custos de manutenção e corrosão conforme a Tabela 1:

Tabela 1 - Custos de corrosão e manutenção na indústria de alimentos e de energia elétrica

Industria	**Descrição**	**Custo Direto**	**Percentual**	**Custos indiretos**
Energia Elétrica	Corrosão	731,86	10%	76,76
	Manutenção	6288,18	90%	1901,43
	Custo total	7020,04	100%	1978,18
Indústria de Alimentos	Corrosão	1470,48	5%	0
	Manutenção	23479,52	95%	0
	Custo total	24950,57	100%	0

Fonte: Adaptado de Aponte *et al* (2008)

Como pode ser observado na tabela 1, nos custos totais com manutenção, apenas 10% dos custos são com corrosão para a indústria elétrica e 5% para a indústria de alimentos respectivamente, mostrando que as duas indústrias fazem manutenções preventivas em seus equipamentos como observado na tabela 2.

Tabela 2 - Tipo de manutenção realizada na indústria de energia elétrica e de alimentos

Tipos de Manutenção	**Custo na Planta Elétrica (R$)**	**Custo na Planta de Alimentos (R$)**
Manutenção corretiva	179,0181	806,7015
Manutenção preventiva	630,5837	526,7499
Custo total	808,9231	1333,493

Fonte: Adaptado de Aponte *et al* (2008)

Como pode ser observado, as duas indústrias investem em manutenção preventiva, reduzindo os custos com manutenção geral como os de substituição de peças e equipamentos.

Dentro do estudo foi identificado os tipos de corrosão que estavam impactando nos custos de manutenção, conforme observado na Tabela 3 e os métodos de controle de corrosão, observado na Tabela 4, utilizados tanto na indústria de energia elétrica quanto para a indústria de alimentos respectivamente.

Tabela 3 – Tipos de corrosão encontrada na indústria de energia elétrica e de alimentos respectivamente:

Tipo de Corrosão	**Custo na Planta Elétrica (R$)**	**Custo na Planta de Alimentos (R$)**
Uniforme	206,6713	607,452
Galvânica	117,9045	0
Erosão	157,111	0
Picaduras	80,34715	0,735795
Inter Granular	0	30,20576
Espaço Confinado	0	9,801915
Microbiana	0	0,100335
Sob Tensão	0	2,516884
Total	557,5374	800,493

Fonte: Adaptado de Aponte *et al* (2008)

Tabela 4 - Métodos de controle a corrosão na indústria de energia elétrica e de alimentos respectivamente

Método de Controle	**Custo na Planta Elétrica (R$)**	**Custo na Planta de Alimentos (R$)**
Seleção/Troca de Materiais	563,6339	178,1588
Tratamento Químico	240,4567	339,3983
Recobrimento	3,203861	622,3342
Proteção Catódica	2,203861	0
Total	808,9231	1139,887

Fonte: Adaptado de Aponte *et a*l (2008)

Um dos maiores vilões e causadores de corrosão em equipamentos é a própria atmosfera, principalmente se tiver uma concentração elevada de sal em suspensão, pois os estudos de Nazarov (2016), fala que o sal depositado na superfície do ferro e zinco, pode promover um filme eletrolítico, podendo ter formação de células eletrolíticas, variando de células anódicas e catódicas conforme a espessura do filme de sal. No estudo foi usado uma sonda Kelvin de varredura (SKP) juntamente com técnicas de polarização para medir taxas de corrosão em condições atmosféricas, onde a técnica foi capaz de fornecer informações precisas sobre área anódicas e catódicas, ao contrário da técnica de polarização que não fornece uma medida direta da taxa de reação eletrolítica. Com isso o monitoramento do potencial durante a transição ar/gás, inerte é capaz de determinar a eficiência local da reação catódica. Assim, a técnica de SKP pode ser usada para classificar a superfície de acordo com sua capacidade de reduzir oxigênio.

A região onde o equipamento está situado, pode influenciar de forma direta na sua degradação e corrosão, tanto pelos poluentes suspensos na atmosfera, quanto pelas condições climáticas do local onde o equipamento está localizado (ISO 9293:1994), sendo reforçado pelos experimentos de Babutzka *et al* (2023), onde foi depositado placas de diferentes materiais como zinco, alumínio, cobre e aço não ligado em regiões distintas na Alemanha para medir a taxa de corrosão em diferente concentrações de cloreto e sulfato como pode ser visto na Tabela 5:

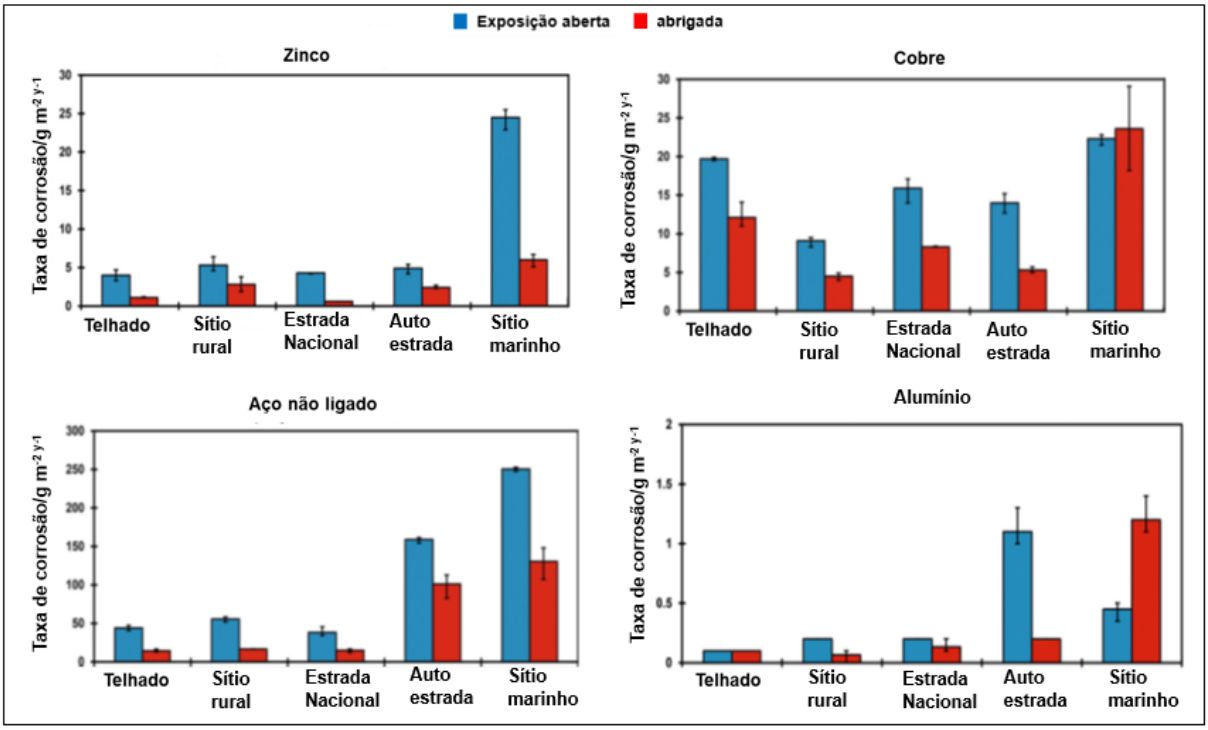
Tabela 5 - Regiões da Alemanha que apresentam diferentes concentrações de cloreto e sulfato.

Local de exposição: Tipo de atmosfera	**Quantidade efetiva depositado de cloretos mg m-2**	**Quantidade efetiva depositado de sulfatos mg m-2**
Sítio: zona rural	13	<1
Telhado: zona urbana	26	26
Estrada nacional: zona urbana	103	64
Auto estrada: zona urbana	283	192
Sítio: zona marinha	533	142

Fonte: Adaptado de Babutzka *et al* (2023)

Após um ano, foi medida a taxa da corrosão das placas de diferentes regiões conforme se observa na Figura 1.

Figura 1 - Corrosão de placas de zinco, cobre, aço não ligado e alumínio em diferentes locais na Alemanha.



Fonte: Adaptado de Babutzka *et al* (2023)

Conforme indicação na Figura 1, a corrosão ocorreu dentro do esperado nas atmosferas rurais, urbanas e marinhas, na Europa, sob condições de exposição aberta, exceto para aço não ligado no sítio marinho e cobre no sítio rural. A corrosão do zinco, não foi correlacionada com a região de exposição, sendo que o metal sofreu

degradação em todos os locais onde ficou exposto, não tendo relação em sua redução com os cloretos e o SO_2. O alumínio apresentou corrosão localizada por pites onde foi correlacionada com o sal do degelo e atmosfera marinha. O cobre teve um aumento significativo no sítio rural investigado, fugindo da expectativa.

2.2 Corrosão em Diferentes pH

Os estudos de Lekatou e Tsouli (2022), buscaram investigar a corrosão em vergalhões corrugados de aço inoxidável 316L e 304L em um eletrólito levemente alcalino (pH = 8) e outro eletrólito altamente alcalino (pH =12,5), contendo Ca(OH)2, parcialmente substituída por cinzas voláteis, em uma solução que buscou simular a chuva ácida, onde o alto valor de pH resultou em um menor potencial de corrosão e uma menor densidade de corrente de corrosão em ambos os aços e todos os teores de cinzas voláteis em comparação ao valor baixo de pH.

Já os estudos de Tanupabrungsun *et al* (2013), usou técnicas eletroquímicas de análise de superfície para analisar mecanismos de corrosão do CO_2 do aço macio com faixa de temperatura 80-200 ºC e diferentes pH. Os experimentos foram feitos utilizando uma autoclave de 4 litros equipada para realizar medições eletroquímicas utilizando resistência a polarização linear e espectroscopia de impedância eletroquímica, onde o eletrólito foi 1% em peso de NaCl saturado com CO_2 a 0,030 M de (CO_2) aq. Os testes foram realizados em diferentes temperaturas e com variações de pH entre 4 e 8. Após os experimentos, as superfícies da amostra foram caracterizadas da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios x (DRX). Onde os resultados mostraram que as taxas de corrosão foram maiores em amostras com pH de 4 em comparação as amostras com pH de 6, em relação a temperatura, foi observado que a corrosão diminuiu com a mesma, devido à formação de camadas protetoras na superfície do aço. A análise dos produtos de corrosão confirmou camadas de $FeCO_3$ em todos os testes e a presença de uma mistura de Fe_3O_4 e $FeCO_3$ em temperaturas acima de 150 °C.

Os estudos de Yu (2024), buscou testar diferentes concentrações de pH de um eletrólito a base de NaOH, em alumínio, medindo a tensão do processo para obter a duração do estágio de oxidação anódica e a oxidação por micro arco. Foi testado as seguintes concentrações de pH: (pH10, pH11, pH12 e pH13) obtendo as seguintes correntes elétricas conforme pode ser observado na Tabela 6:

Tabela 6 - Condutividade elétrica em diferentes pH

pH do eletrólito	Tensão de ruptura/V	Tensão crítica/V	Tensão final/V	Tempo de oxidação do micro arco/S	Espessura/μm
10	448	494	540	843	12.61
11	359	472	527	913	13.9
12	336	456	516	954	16.07
13	251	310	456	1056	21.12

Fonte: Yu (2024).

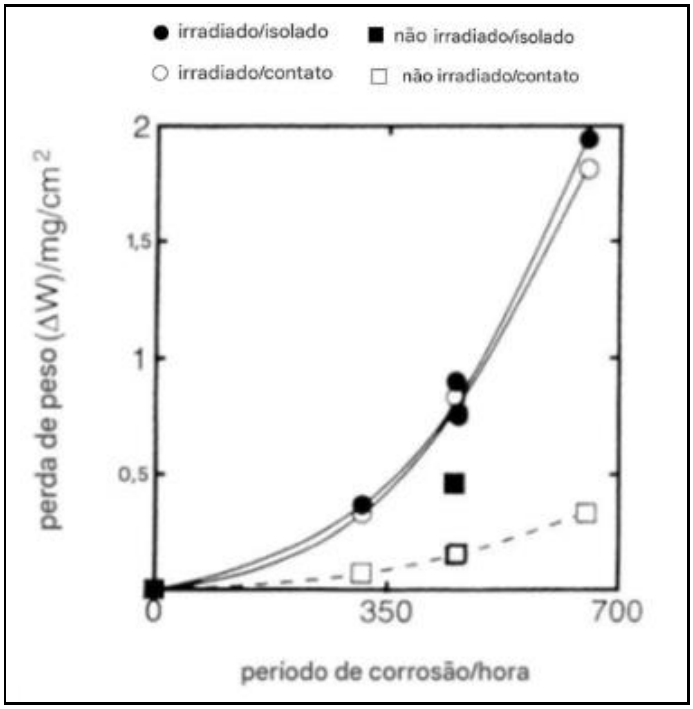
A partir da Tabela 6, observou-se que o aumento do pH do eletrólito resultou em um incremento gradual na condutividade do eletrólito. Esse comportamento foi acompanhado por uma redução correspondente na tensão de ruptura da amostra. Além disso, verificou-se que o aumento do pH também influenciou a duração dos estágios de oxidação. A duração total dos estágios de oxidação anódica e de descarga de faísca apresentou uma diminuição significativa. Em contrapartida, o estágio de oxidação por micro arco apresentou um aumento na duração, com valores registrados de 843 s, 913 s, 954 s e 1056 s, respectivamente. Essa variação se deve, principalmente, às mudanças na concentração de íons no eletrólito com o aumento do pH. Esse fator impactou o comportamento da tensão da amostra durante o processo de oxidação por micro arco, reduzindo tanto a tensão de ruptura quanto a tensão crítica.

2.3 Taxas de Corrosão em Diferente Temperaturas

Segundo a pesquisa de Fredriksson (2001), o fenômeno de aumento da temperatura, aumenta consequentemente a velocidade das reações eletroquímicas e as reações por difusão, podendo admitir assim que a temperatura torna o processo corrosivo mais rápido. Entretanto, se a temperatura diminuir, a quantidade de gases dissolvidos como o oxigênio, pode acabar diminuindo a velocidade do processo corrosivo. Conceitos estes, reforçados na pesquisa de Fujita (2000), que colocou uma amostra de aço carbono em temperatura de 250°C, para examinar o comportamento sobre raios y, onde as mudanças de peso em função do tempo e sob uma taxa baixa

de 0,48KG/h, mostraram uma taxa 6 vezes maiores em comparação com as amostras sem exposição a raios-γ, conforme observado na Figura 2.

Figura 2 - Taxa de corrosão do aço carbono em diferentes condições



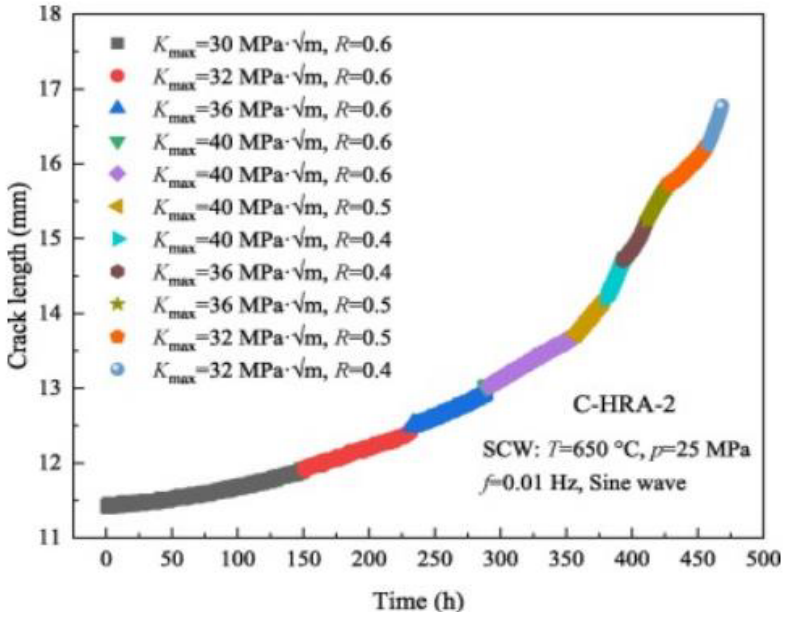
Fonte: Fujita (2000).

Na Figura 2, está apresentada a perda de massa ($\Delta W \leqq 0$) durante a corrosão em água de alta temperatura: (·) irradiado/isolado, (○) irradiado/em contato, (■) não irradiado/isolado, (□) não irradiado/em contato. O estudo ilustra que enquanto os raios-γ estiverem presentes, a amostra está exposta ao ambiente agressivo, independente se a amostra estiver em contato ou não com outros componentes, incluindo espécies não irradiadas. Porém, o interessante foi o resultado da amostra não irradiada, não isolada, exibindo uma perda de peso menor do que ao corpo de prova isolado, que é atribuído a formação de uma célula induzida por radiação, onde a magnetita Fe_3O_4 e α-ferro precipitam-se facilmente na superfície através de reações, resultando em uma perda de peso reduzida, uma vez que as espécies não irradiadas são polarizadas positivamente em relação aos expostos (FUJITA, 2000).

Outro fator que está associado ao aumento da corrosão, é a intensidade sobre a tensão que o metal sofre. Através dos estudos de Chen *et al* (2023), foi realizado um experimento com uma liga à base de Níquel em um ambiente com água supercrítica (600 °C/25 MPa). O resultado do experimento mostrou que com o

aumento de *K*Max, onde a taxa do crescimento da fissura de corrosão por fadiga, aumenta e satisfaz a relação exponencial como pode ser observado no Figura 3:

Figura 3 - Curva de crescimento de fissura por corrosão e fadiga do corpo de prova.



Fonte: Chen *et al* (2023)

A Figura 3 mostra a influência do fator da intensidade máxima de tensão RCFC para uma mesma razão de tensão, com o aumento do fator de intensidade máxima de tensão, quando em R=0,6, *K*Max aumentou de 32 MPa·√m para 40 MPa·√m, o GFCGR aumentou significativamente em 1,33 vezes. Esses resultados são validados pelos estudos de Chen *et al* (2023), que testou o efeito na taxa de trinca por corrosão e fadiga em uma liga a base de níquel em água supercrítica, observando que o aumento do fator intensidade máxima de tensão aumentou significativamente a fissura por corrosão-fadiga onde a tensão e a frequência da fissura por corrosão-fadiga, se mostraram proporcionais tendo relações linear logarítmica.

O trabalho de Yao (2024), também investigou o mecanismo de decaimento mecânico e o mecanismo de corrosão a altas temperaturas, em aços de alta resistência. Através dos experimentos e ensaios simulados com água, óleo, H_2S e CO_2, constatou-se que a resistência à corrosão e a tração diminuem com temperatura de 350 ºC em comparação a temperatura de 25 ºC, reduzindo a resistência à tração em 11,91% e a resistência ao escoamento em 19,08%. Além disso, a taxa de corrosão do aço de alta resistência aumentou gradualmente conforme ia aumentando a temperatura, indo de 0,0914mm/a 150ºC, para 1,2288 mm/a 350 º C.

2.4 Análise Econômica sobre a Instalação de Equipamentos Industriais e Lavadores de Gases

Segundo os estudos de Talluri (2002) e Sulaiman (2025) a aquisição de um equipamento, requer fatores importantes como questões financeiras e não financeiras, sendo que em muitos casos a decisão da compra está relacionado com os custos de aquisição, não permitindo outros fatores derivados dos equipamentos, como a sua durabilidade e performance. Já Naguib (2010), fala que o investimento em um equipamento ou a troca de um equipamento antigo, deve ser baseado em opções reais, levando em conta o longo prazo. No estudo foi levantado que uma má análise de alocação de recurso em um equipamento, pode causar a rápida desvalorização do mesmo, podendo o equipamento se tornar inoperante ou obsoleto no curto prazo, sendo assim, os estudos relacionados à aplicação do mesmo, assim como a sua vida útil são fundamentais na decisão de compra de um equipamento industrial.

Yunus e Suleyman (2020), complementam em sua pesquisa, que para calcular a vida útil de um equipamento e o mesmo ser economicamente viável, existem diversos fatores para serem levados em conta, como projeto, fabricação e operação. O projeto estrutural de um equipamento, envolve metodologias de projetos tradicionais, como considerar a vida útil dos materiais utilizados sendo refletida na própria vida útil do equipamento, tornando o equipamento ou máquina economicamente viável para a sua aplicação. Dentro de um projeto se busca modelos matemáticos que descrevem o estado atual de uma máquina em termos de resistência, levando em conta a estática, dinâmica, fadiga, rigidez, resistência à corrosão, resistência ao calor e à tribo dos materiais utilizados em sua concepção. O estudo ainda conclui que a base de otimização de um equipamento é a disposição sobre a existência do mesmo em termos econômicos e sua viabilidade, tendo um custo mínimo de fabricação, objetivando ter uma solidez econômica e alcançando uma durabilidade igualitária em seus componentes.

Dentro de um projeto de um equipamento, modelos matemáticos e ferramentas como os 6 sigmas são importantes dentro da confecção, projeto e montagem de uma planta industrial, porém a conservação e as manutenções periódicas em um equipamento podem aumentar ou confirmar a durabilidade especificada pelos fornecedores de equipamentos (JONES 1970).

De acordo com Metalúrgica Fialho (2024), Brasfaiber (2024) e Fillkplas (2024), o custo de um lavador de gás assim como a sua vida útil, está diretamente relacionado com os materiais e as dificuldades de produção dos mesmos, conforme pode ser observado na Tabela 7, onde está apresentada o custo total com a montagem de quatro lavadores de gases, compostos com diferentes materiais, porém com a mesma capacidade e aplicação.

Tabela 7 - Custo de lavadores de gases de diferentes materiais e sua vida útil

Lavador de gás com suas diferentes composições			
Tipo de lavador	**Material de composição**	**Custo total**	**Durabilidade**
Spray	Aço inoxidável A14	600.000 R$	20 anos
	Aço carbono	400.000R$	5 anos
	Polipropileno (PP)	345.000R$	25 anos
	Fibra de vidro	250.000 R$	30 anos

Fonte: Adaptado de Metalúrgica Fialho (2024), Brasfaiber (2024) e Fillkplas (2024).

Os quatro lavadores de gases do tipo Venturi, foram cotados, baseando-se na mesma aplicação e configuração, conforme observado na Tabela 8:

Tabela 8 - Capacidade do lavador de gás cotado

Especificação do Lavador de Gás	
Volume da carcaça	180 l
Vazão de gás	36300 m³/h
Pressão	1277 Pa
Rotação do motor	1250 rpm
Voltagem do motor	440-480 V
Rotação da bomba de circulação	1750 rpm
Potência do motor	25 KW
Temperatura de operação	50 °C

Fonte: Adaptado de uma empresa moveleira da região metropolitana de Porto Alegre (2024)

Conforme pode ser observado na Tabela 8, a pesquisa conclui que o custo do material tem relação com o custo total de produção de um lavador de gás, porém não tem relação com a sua durabilidade, podendo o lavador de gás mais barato, sendo o lavador de gás composto de fibra de vidro ser mais barato que os demais, porém tem uma vida útil maior (METALÚRGICA FIALHO, 2024).

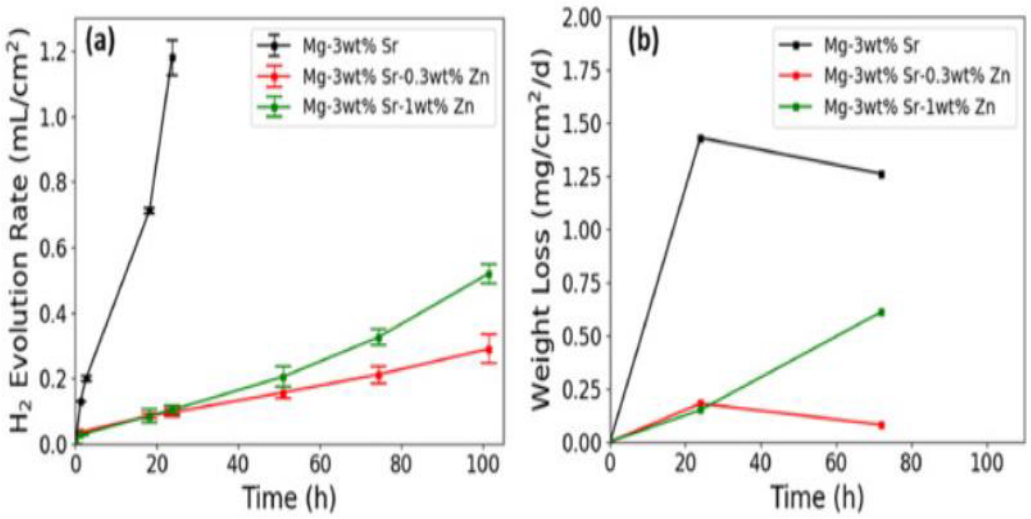
2.5 Eficiência dos Métodos de Proteção em Equipamentos Industriais

Os inibidores de corrosão, são aplicações de extrema importância dentro dos métodos de proteção a corrosão, principalmente em corrosão termo galvânica, onde, através dos experimentos de Kumar e Choubey (2023), foi testado a aplicação de um revestimento em pó de HVOF-10Co-4Cr, sobre o aço 316L com o intuito de reduzir o impacto a corrosão em comparação ao aço 316L puro. O ensaio foi realizado em exposição do metal em situações hostil, com temperatura de 800°C. Após o ensaio observou-se que a proteção orgânica se mostrou satisfatória, tendo uma boa aderência de revestimento ao substrato, formando uma capa protetora e inibindo a corrosão, diferentemente da peça de aço 316L sem a proteção.

Dentro do estudo de proteção a corrosão, está cada vez mais comum o uso de software, um exemplo, foi o estudo de Thekkepat *et al* (2022), onde foi desenvolvido uma metodologia computacional baseada no ciclo termodinâmico de Born-Harber, que serve para prever com eficiência os potenciais eletroquímicos de fases arbitrárias em função das composições de equilíbrio de elementos de liga em cada fase constituinte de corrosão.

O estudo foi realizado em ligas de zinco, alterando seu percentual de massa em seu sistema ternário constituído por Mg-Sr-Zn, também foi medido a corrosão e a taxa de evolução do hidrogênio com a sua perda de peso e a taxa de evolução do hidrogênio na amostra Mg-3w%Sr, apresentando uma rápida taxa de corrosão em comparação a amostras contendo Zn, já as amostras com 0,3% em peso de Zn, apresentou a menor taxa de corrosão entre todas as amostras. Sendo assim, foi possível alterar a composição de zinco no sistema ternário Mg-Sr-Zn para prevenir a formação de pares galvânicos e melhorar o comportamento corrosivo, como pode ser observado no Figura 4:

Figura 4 - Medições comparativas entre taxa de evolução de hidrogênio (a) em comparação a perda de peso (b), ou seja (processo corrosivo)



Fonte: Thekkepat *et al* (2022)

Outro método que de proteção que vem sendo estudado, é o uso de recapagem da peça metálica com revestimento de sais fundidos, pois permite contar com grandes perspectivas, principalmente pelos sais serem grandes transportadores de calor, permitindo que a peça recapada pelo sal fundido ser resistente a corrosão termo galvânica, fazendo com que o calor se distribua de forma uniforme pela peça ou equipamento, pois a temperatura tem influência na composição catiônica e aniônica do fundido sobre a taxa de corrosão. Com a pesquisa vai ser permitido estimar a oportunidade e a conveniência da aplicação com material estrutural para criação de células de alta temperatura.

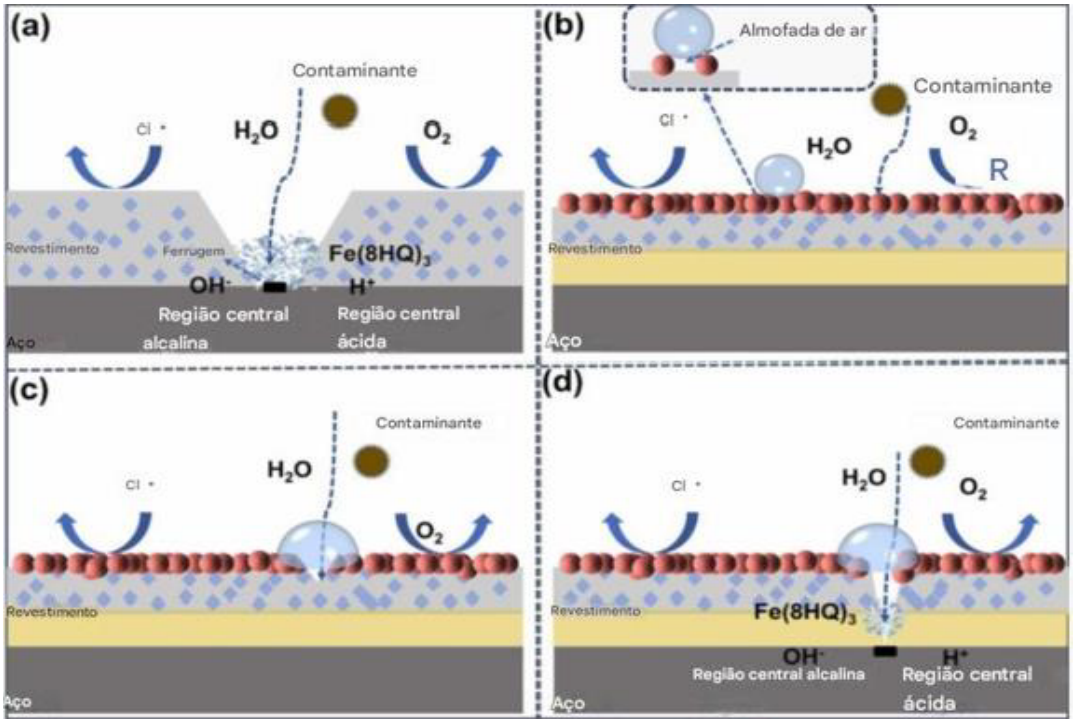
Segundo Sheikhbahaei e Abdi (2011), os métodos de proteção a incrustações e principalmente a corrosão não se restringem apenas na instalação de equipamentos, mas sim na sua operação, principalmente equipamentos que utilizam água em seus processos de produção, onde pode ser utilizado produtos e aditivos químicos na água para prevenir a corrosão, porém o estudo salienta que tais produtos são muito caros, tendo que ser avaliado a viabilidade do uso de produtos, ou se é mais viável outros métodos de proteção como a troca do equipamento a cada ciclo de vida do mesmo.

Segundo Xia *et al* (2024) um dos métodos que proteção que vem ganhando espaço, são as multicamadas de metais durante a brasagem e subsequente o envelhecimento artificial, onde as camadas superiores fornecem a proteção sacrificial

ao núcleo devido ao seu potencial mais negativo e maior reatividade à corrosão localizada causada pelos pares micro galvânica formada pelas partículas intermetálicas e o substrato. O estudo foi realizado com o metal Al, utilizando diversos métodos de caracterização, sendo ensaios SWAAT, eletroquímicos e SSRT, onde foi observado que a resistência a corrosão em comparação as chapas não braças foi aumentada significativamente devido a precipitação de várias fases do reforço do núcleo após o seu envelhecimento artificial.

Dentre as proteções a corrosão por revestimentos, está sendo estudado proteções que não geram impactos ao meio ambiente, e com isso reduzindo a emissão de carbono, onde no estudo de Yue *et al* (2024), se buscou o desenvolvimento de um revestimento multicamadas superhidrofóbicos à base de goma *Eucommia ulmoides* epoxidada que foi preparada através de uma abordagem bottom-up de montagem camada por camada. A camada de goma epoxidada foi desenvolvida a base do compósito goma *Eucommia ulmoides/ lignina industrial (EEUG-EHL),* exibindo ótima aderência impermeabilidades e resistência à corrosão como pode ser observado a Figura 5, sendo: (a) Placa de metal nu; (b) revestimento de monocamada; (c) e (d) Revestimento de monocamada com ranhuras.

Figura 5 - Imagem de um substrato metálico nu (a) em comparação ao substrato revestido com monocamadas (b, c e d)



Fonte: Yue *et al* (2024)

Como pode ser observado na figura supracitada, o revestimento de monocamada, penetra nas imperfeições do substrato, protegendo de forma uniforme, onde em alguns casos, mesmo com a monocamada com a formação de pequenos arranhões, protege o substrato, devido às outras camadas internas formar uma barreira impermeável não permitindo que as gotas entre em contato com o material. Os ensaios foram realizados sob uma imersão de solução salina da amostra com um substrato metálica revestido de monocamadas em comparação com um substrato metálica nu, concluindo que as monocamadas a base de matéria prima orgânica são excelentes protetoras agindo também como estabilizante químico, autolimpantes, resistentes a manchas e principalmente resistentes a corrosão de metais revestidos.

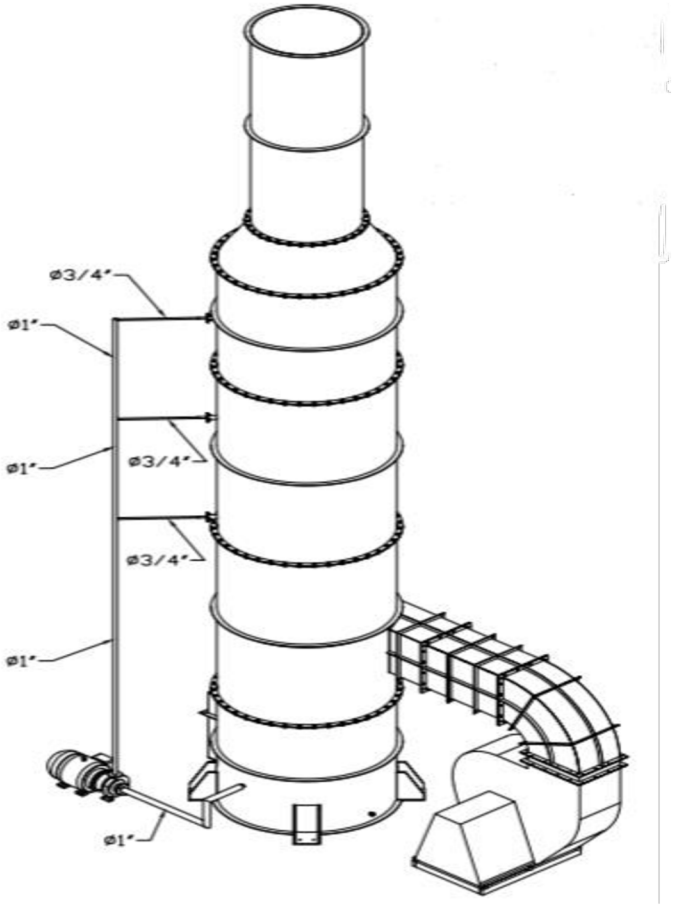
3 METODOLOGIA

A estratégia que será adotada nessa pesquisa, será um estudo de caso onde se utiliza uma abordagem qualitativa e quantitativa. A abordagem qualitativa irá buscar determinar o contexto e as caracterizações do objeto e o ambiente no qual ele está inserido. Já a abordagem quantitativa será necessária para determinar os motivos da corrosão no equipamento, assim como sugerir métodos de proteção adequado.

3.1 Materiais

Os lavadores de gases são dispositivos usados para remover partículas e poluentes gasosos de correntes gasosas, sendo equipamentos amplamente utilizados em diversas indústrias, como química, petroquímica, farmacêutica e indústrias moveleiras. A Figura 6, representa a planta do lavador de gás onde será realizado o estudo.

Figura 6 - Planta do lavador de gás



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O lavador de gás que está sendo estudado é do tipo spray e é um dispositivo projetado para remover poluentes gasosos de correntes de gases de exaustão industrial de um processo de impregnação de papel melamínico. Este sistema opera com base em princípios de absorção física ou química, utilizando um líquido de lavagem que nesse caso se usa água que entra em contato direto com os gases contaminados para capturar os poluentes indesejados.

O funcionamento básico envolve o direcionamento dos gases sujos através de um leito de pulverização, onde são atomizados em pequenas gotículas. Estas gotículas estão dispersas no caminho dos gases, proporcionando uma grande área de contato entre o gás e o líquido de lavagem. Este líquido é água de processos, tratada internamente pela empresa.

À medida que os gases passam pelas gotículas, ocorre a transferência de massa, onde os poluentes gasosos se dissolvem ou reagem com o líquido de lavagem.

Após a passagem pelos pulverizadores, os gases lavados são armazenados na carcaça do próprio lavador de gás, necessitando uma parada para a coleta do líquido de lavagem para ser reciclado e a reposição de uma nova água que será usada para recircular no lavador de gás.

A seguir será apresentado os dados técnicos do lavador de gás, extraídos da biblioteca da empresa onde está sendo realizado o estudo. Os dados hidráulicos são demonstrados na Tabela 09, os dados do ventilador na Tabela 10 e os dados do motor do ventilador na Tabela 11.

Tabela 9 - Dados hidráulicos do lavador de gás

Dados do esquema hidráulico do lavador de gás	
Tipo de bomba de circulação de água	Bomba centrifuga Schneider
Modelo da bomba de circulação	BC-21 R ¼’
Conexão de sucção	1. ¼’
Conexão de recalque	1. ¼’
Vazão da água de circulação	15m³/h
Pressão da água	30 MCA
Ponto de reposição da água	½’
Boia de nível	Tipo mecânico
Bicos injetores	Não informado

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 10 - Dados do ventilador

Dados do ventilador do lavador de gás	
N° de serie	69656
Modelo	SgHI 80-99/4
Temperatura de trabalho	140°C
Temperatura máxima	250°C
Pressão total	1277 Pa
Rotações	1250 rpm

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 11 - Dados do motor do ventilador

Dados do motor do ventilador do lavador de gás	
Modelo	1LG4186-4AA60-Z A11
Carcaça	180 l
Potência	2533 kW
Rotações	1758 rpm
Voltagem	440-480 V
Frequência	60 Hz
Proteção	IP 55

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

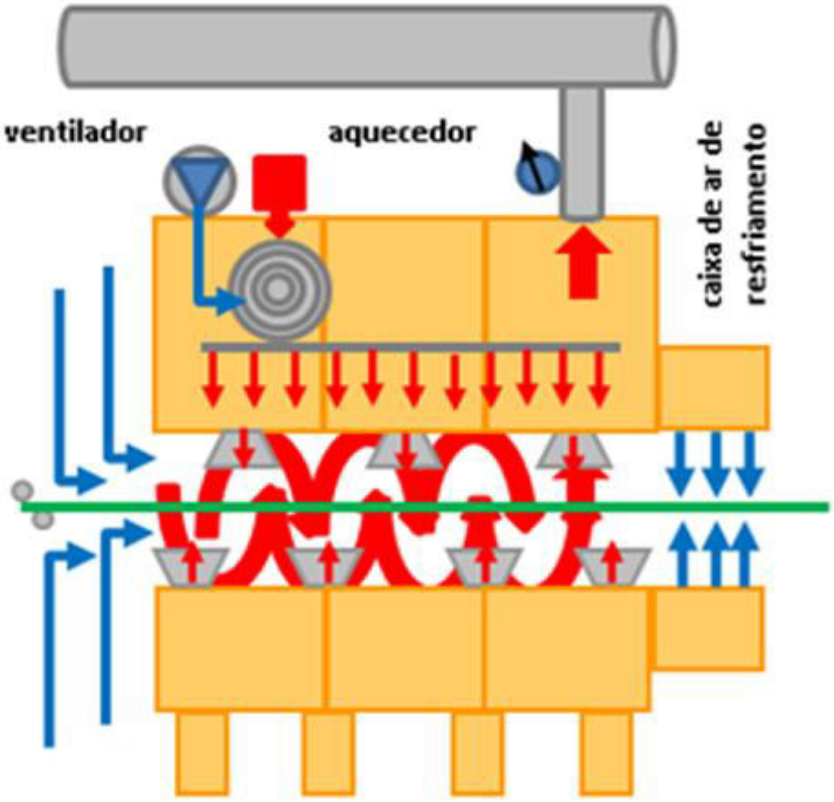
O lavador de gás em questão opera em regime permanente, lavando em torno de 36.300m³/h de gás, proveniente de um processo de impregnação de papel melamínico que pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Processo de impregnação de papel melamínico

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O processo de impregnação de papel melamínico, é responsável pela policondensação de resinas melamínicas em papéis a base de celulose. Após a polimerização da resina que ocorre em fornos de secagem como pode ser observado na Figura 8, todos os gases e materiais particulados, são sugados via tubulação até o lavador de gás para serem filtrados e posteriormente tratados.

Figura 8 - Forno de secagem do processo de impregnação de papel melamínico.

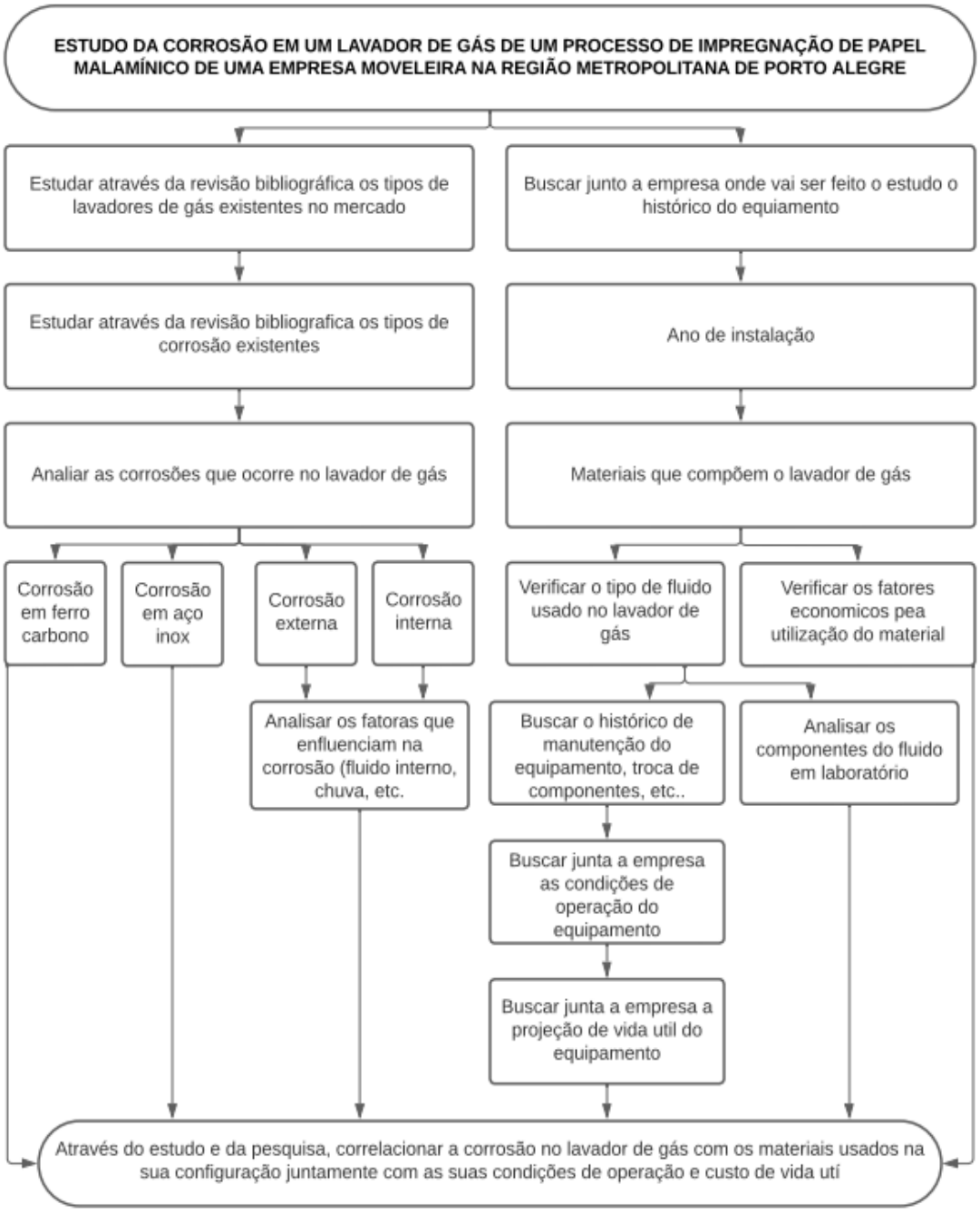


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.2 Métodos

A Figura 9, representa o fluxograma metodológico desenvolvido para estudar as causas da corrosão do lavador de gás.

Figura 9 - Fluxograma metodológico



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.2.1 Histórico do Equipamento

O lavador de gás, representado na Figura 10, está situado entre a região litorânea e a região metropolitana de Porto Alegre, ficando distantes 63 km e 45,5 km respectivamente.

Figura 10 - Composição do lavador de gás

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O lavador de gás, representado pela Figura 10, foi confeccionado em 2010, sendo constituído, pela sua base de aço inoxidável 309, e sua estrutura de topo, constituída por aço carbono A36, todas as suas tubulações, parafusos e juntas, também é constituída por aço carbono A36. Primeiramente, projetado para durar 10 anos, o lavador de gás teve o seu primeiro reparo em 2016, onde foi trocado todos os componentes a base de aço carbono A36. Em 2022, foi realizado novamente a troca de toda a estrutura da base de aço carbono A36, mostrando que o material utilizado estava sendo perdido por oxidação antes do previsto pela empresa. Em 2024, foi realizada a troca da chaminé e a recapagem da estrutura composta por aço carbono A36. O único método de proteção contra corrosão que o lavador de gás utiliza é a pintura a base de zarcão nos componentes a base de aço carbono A36.

3.2.2 Corrosão Interna

Para identificar os motivos que levaram a corrosão interna ou a potencialização da corrosão do equipamento, será avaliado o fluido utilizado na lavagem do gás e o tempo de troca do fluido de lavagem, pois através de uma avaliação prévia, o fluido de circulação vai saturando com o material de lavagem até um setup do equipamento e a troca da mesma.

Para correlacionar o fluido utilizado na lavagem com a corrosão interna do equipamento, será necessário realizar ensaios de laboratório, tanto no fluido de alimentação do lavador de gás, quanto ao fluido de recirculação que vai saturando ao longo do tempo. Alguns ensaios serão realizados no laboratório da própria empresa, serão eles: pH, turbidez, Condutividade e cloro livre.

3.2.3 Corrosão Externa

Para identificar as causas da corrosão externa do equipamento ou a potencialização da mesma, será necessário identificar os fatores externos que influenciam na corrosão que são a água da chuva e a atmosfera.

Para analisar a água da chuva, se propõe a coleta e análise da mesma em laboratório, como pH, turbidez, condutividade e cloro livre, onde algumas análises serão realizadas internamente no laboratório da empresa onde está sendo realizado o estudo e outras análises, como sulfatos e cloretos, serão realizadas em empresas parceiras. A coleta da água da chuva se dará em 3 meses onde se buscará uma média aritmética dos resultados.

3.2.4 Análise do fluido utilizado do lavador de gás

A análise da água de chuva e das águas utilizadas no lavador de gás, serão realizadas no próprio laboratório da empresa onde está sendo realizado o estudo. Serão realizadas as seguintes análises: turbidez, condutividade, pH, cloro livre e cloreto.

3.2.5 Coleta das Águas

Para a coleta das águas, será utilizado um Becker de plástico, onde a água da chuva será coletada em dias de chuva ao lado do lavador de gás como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 – Recipiente para coleta da água da chuva

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Já a coleta da água de alimentação e água de circulação do lavador de gás se deu na janela de visita do lavador de gás como pode ser observado na Figura 12:

Figura 12 - Coleta de água de alimentação e circulação do lavador de gás

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Após as coletas, a água foi armazenada em um frasco e encaminhadas ao laboratório da empresa onde está sendo realizado o estudo conforme a Figura 13.

Figura 13 - Armazenamento de água para encaminhar para o laboratório

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.3 Análises

A seguir, serão apresentados as análises e os equipamentos que foram utilizados para identificar os parâmetros da água da chuva e da água de processo utilizada no lavador de gás, em diferentes dias.

Tendo em vista que as antigas normas da ABNT, como a NBR 14339:1999 (para pH) e NBR 14340:1999 (para condutividade) foram canceladas em 2016, todas as análises da água realizadas neste estudo, seguem os procedimentos técnicos do Manual Prático de Análise de Água, da FUNASA - Fundação Nacional de Saúde (BRASIL, 2013), que por sua vez, atende ao Artigo 22 da Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde[1], ao seguir os Métodos Padrão para o Exame de Água e Esgoto, mais conhecida em inglês por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* - (APHA).

[1] Atualmente foi substituída pela Portaria GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021.

Sendo assim, foram utilizados os seguintes procedimentos de análise: turbidez: Método 2130 B, pH: Método 4500 H+ B, condutividade: Método 2510 B, cloro livre: Método 4500 G e cloretos: Método 4500 Cl- B.

3.3.1 Análise de Turbidez

Para realizar a análise de Turbidez, será utilizado o turbidímetro da marca Hach, conforme a Figura 14:

Figura 14 - Turbidímetro

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise de turbidez da água é um processo que avalia o grau de opacidade ou clareza da água, causado por partículas suspensas, como argila, lodo, matéria orgânica ou inorgânica, e microrganismos. Ela é um importante indicador de qualidade da água, utilizado em estações de tratamento de água potável, águas superficiais e subterrâneas, efluentes industriais e em outras aplicações ambientais.

Mede a quantidade de luz dispersa pelas partículas em suspensão em um ângulo específico (geralmente 90 graus). Quanto mais partículas, maior a dispersão de luz. A turbidez é expressa em NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

3.3.2 Análise de pH

Para a análise do pH das águas, será utilizado um Phmetro da marca Digimed conforme a Figura 15:

Figura 15 - Phmetro

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A análise de pH da água é fundamental para avaliar sua acidez ou alcalinidade, fator importante na qualidade da água para consumo humano, uso industrial e ambiental. O pH é uma medida da concentração de íons de hidrogênio (H^+) em uma solução, com uma escala que varia de 0 a 14, sendo 0 o valor mais ácido e 14 o valor mais alcalino.

3.3.3 Análise de Condutividade

Para realizar a análise de condutividade, foi utilizado um condutivímetro da marca Gehaka, conforme pode ser observado na Figura 16:

Figura 16 - Condutivímetro

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O condutivímetro é um instrumento utilizado para medir a condutividade elétrica de uma solução, que reflete a capacidade da água de conduzir corrente elétrica. A condutividade é diretamente proporcional à quantidade de íons dissolvidos na água, como sais, ácidos ou bases. É uma importante medida da qualidade da água, pois indica a presença de sólidos dissolvidos que podem influenciar sua potabilidade, adequação para processos industriais ou impacto ambiental. A condutividade elétrica de uma solução depende da concentração de íons nela dissolvidos. Quando íons como sódio (Na^+), cloreto (Cl^-), cálcio (Ca^{2+}) ou outros estão presentes na água, eles aumentam sua capacidade de conduzir corrente elétrica. O condutivímetro mede a facilidade com que a corrente passa através da água, e os resultados são expressos em microsiemens por centímetro (µS/cm) ou milisiemens por centímetro (mS/cm).

3.3.4 Análise de Cloro livre

O teste de cloro livre, foi realizado com o kit de análise da marca Viscolor, pela metodologia pré-definida pelo fabricante, conforme pode ser observado na figura 17:

Figura 17 - Kit de Análise de cloro livre

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A análise de cloro livre na água é fundamental para garantir a segurança e a eficácia dos processos de desinfecção. O cloro é amplamente utilizado no tratamento de água potável e efluentes devido à sua capacidade de eliminar patógenos, mas o monitoramento do nível de cloro livre é necessário para garantir que ele esteja presente em quantidade suficiente para desinfecção, mas não em excesso, o que poderia prejudicar a saúde humana.

3.3.5 Análise de Cloretos

Já a análise para identificar a presença de cloretos, será realizada via titulação, utilizando a solução de nitrato de prata a 0,1 N, conforme pode ser observado na Figura 18, a solução de nitrato de prata é comprada na empresa Neon.

Figura 18 - Titulação com Nitrato de Prata a 0,1N

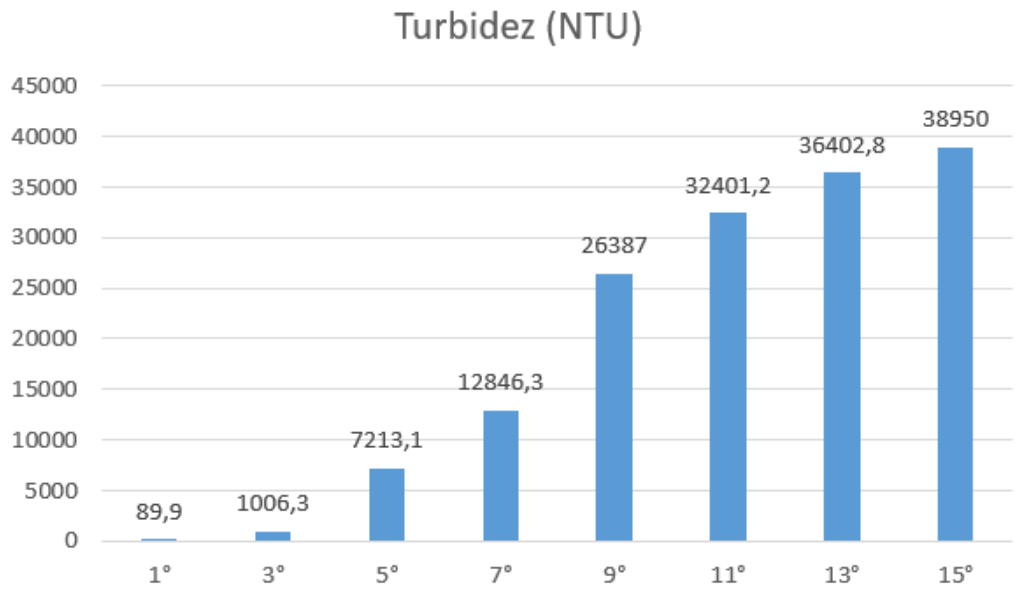
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A análise de cloretos na água é usada para determinar a quantidade de íons cloreto (Cl^-) presentes em uma amostra. Os cloretos são sais dissolvidos, frequentemente derivados de cloreto de sódio (sal de cozinha) ou de outras fontes como águas subterrâneas, efluentes industriais, fertilizantes e águas residuais. O monitoramento dos níveis de cloretos é importante para garantir a qualidade da água para consumo humano, uso industrial, irrigação e preservação ambiental.

4 RESULTADOS

A partir das análises realizadas, se obteve os seguintes resultados de turbidez, conforme a Figura 19:

Figura 19 - Resultado da análise de turbidez durante 15 dias

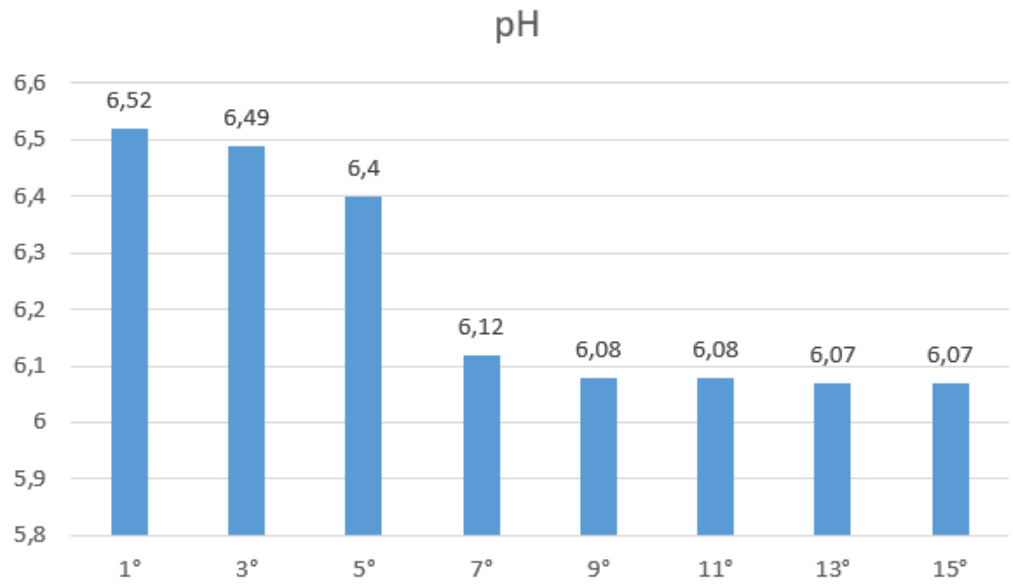


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Como pode ser observado na Figura 19, a turbidez do efluente utilizado no lavador de gás, aumentou ao longo dos dias, saindo de 89,9 NTU, após a limpeza e troca do efluente do lavador de gás, indo até 38950 NTU em 15 dias, deixando o líquido de lavagem turvo, conforme pode ser observado na Figura 20.

A partir das análises realizadas, se obteve também os seguintes resultados de pH, conforme Figura 20.

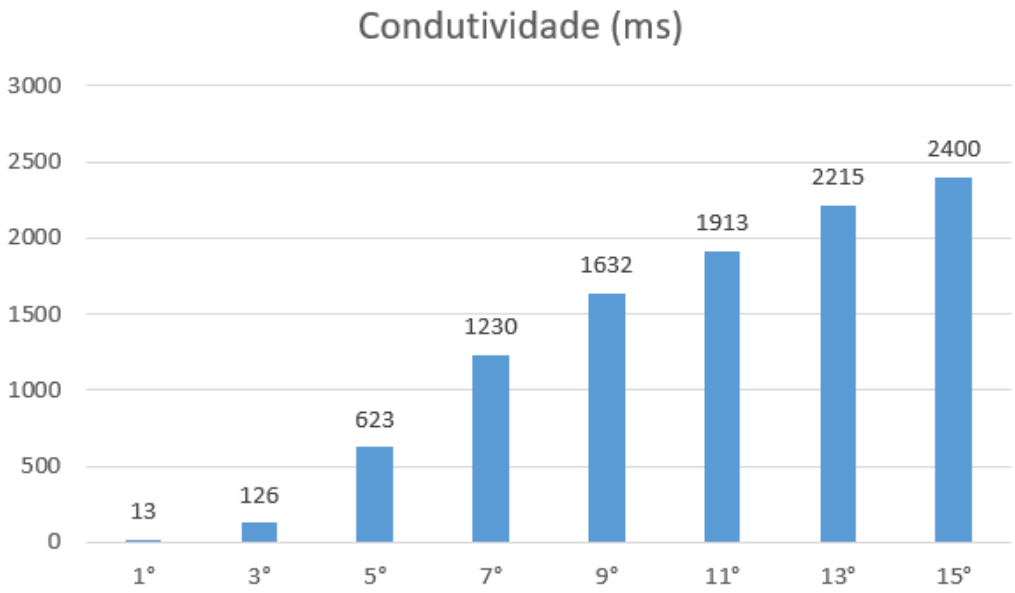
Figura 20 - Resultados das análises de pH



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Já na análise de condutividade, se obteve os seguintes resultados conforme Figura 21:

Figura 21 - Resultados da análise de condutividade.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Nota-se que a condutividade aumentou ao longo do tempo, tendo um resultado de análise de 2400 ms em 15 dias.

Já a quantidade de cloretos e cloro livre (Cl-), não alterou ao longo do tempo, se mantendo constante em 0 mg/l e 0 ppm respectivamente. O resultado de cloro livre

já era esperado, pois a água era tratada para manter níveis baixos de cloro, já o resultado de cloretos não se esperava o resultado que obteve, pois, a análise identifica a presença de minerais que é comum em efluentes carregados com matéria orgânica que é o que foi identificado ao observar a coloração no resultado de turbidez e também no resultado de condutividade elétrica, não descartado o resultado de cloretos ter sido obtido por um erro de análise

A água da chuva coletada, apresentou os seguintes resultados médios após três dias consecutivos de precipitação: pH de 6,8, condutividade elétrica de 18 mS e turbidez de 86,2 NTU. Esses parâmetros indicam algumas características importantes sobre a qualidade da água coletada, conforme descrito abaixo:

O pH de 6,8 é ligeiramente ácido, mas ainda dentro de uma faixa aceitável para a água da chuva, que pode variar entre 5,0 e 7,0 dependendo da localização e das condições atmosféricas. O pH de 6,8 é relativamente próximo do neutro, o que é comum em áreas onde a chuva não é muito ácida (como em regiões sem grande poluição atmosférica).

A condutividade elétrica de 18 ms (milisiemens) é bastante alta. A condutividade é um indicador da quantidade de sais dissolvidos na água, como sais de cálcio, magnésio, sódio e potássio. A água da chuva geralmente tem condutividade baixa, mas valores mais altos podem indicar presença significativa de poluentes ou partículas em suspensão, o que sugere que a água coletada pode ter sido influenciada por poluição atmosférica ou por partículas urbanas.

A turbidez de 86,2 NTU pode ser considerada elevada. A água da chuva geralmente tem turbidez baixa, mas um valor alto como esse pode indicar a presença de muitas partículas sólidas em suspensão, como poeira, fuligem e outros materiais que a chuva possa ter capturado da atmosfera. Isso pode ser comum em áreas urbanas ou industriais com poluição atmosférica elevada.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O comportamento da água de processo no lavador de gás ao longo de 15 dias após a troca inicial revelou tendências importantes em parâmetros químicos como pH, turbidez, condutividade elétrica, além de observações sobre cloratos, cloro livre e o próprio projeto do lavador de gás. Estes resultados foram analisados para compreender as causas e os mecanismos da corrosão observada no equipamento.

O pH da água apresentou uma redução gradual ao longo do período, estabilizando-se em 6,07 no décimo terceiro dia. Esta diminuição reflete um aumento na acidez do efluente, o que, conforme o estudo de Lekatou e Tsouli, (2022), intensifica o ambiente corrosivo e acelera o desgaste dos materiais do lavador de gás. Tanupabrungsun *et al* (2013) corroboram com este resultado ao concluir que as taxas de corrosão foram maiores em amostras com pH 4 (mais ácido) em comparação com as amostras com pH 6, indicando que um ambiente mais ácido aumenta a corrosão do aço macio. A redução do pH pode ser atribuída a reações químicas no sistema e ao acúmulo de compostos ácidos provenientes do processo de lavagem, evidenciando a necessidade de um controle mais rigoroso desse parâmetro.

Simultaneamente, a turbidez e a condutividade elétrica aumentaram progressivamente ao longo do tempo. O aumento da turbidez está relacionado à presença de produtos químicos utilizados no processo, bem como a partículas de corrosão desprendidas do equipamento, que permanecem em suspensão no fluido. Por sua vez, a elevação da condutividade elétrica é atribuída à maior concentração de sais e íons dissolvidos, agravada pela evaporação natural da água e pela liberação de íons metálicos durante o processo de corrosão. Estes fatores, não apenas pioram a qualidade do efluente, mas também intensificam a corrosão eletroquímica. No estudo de Yu (2024), analisou-se que alterações na concentração de íons no eletrólito, reduzem tanto a tensão de ruptura quanto a tensão crítica durante o processo de micro arco e que um pH maior no eletrólito facilita a condutividade e encurta certas fases da oxidação, mas prolonga a fase de micro arco.

Os teores de cloratos e cloro livre, por outro lado, permaneceram praticamente constantes durante o período analisado. Dessa forma, não foi observada uma influência significativa desses parâmetros na corrosão do lavador de gás, sugerindo que outros fatores possuem maior relevância para os fenômenos estudados.

Em suma, os resultados demonstram que a queda do pH, o aumento da turbidez e condutividade elétrica e a formação de pilhas galvânicas são os principais fatores relacionados ao ambiente corrosivo no lavador de gás. Tais condições intensificam os processos corrosivos, especialmente nas áreas compostas por aço carbono.

Adicionalmente, foi identificada a formação de pilha galvânica na interface entre os materiais construtivos do lavador: o aço inoxidável 309 e o aço carbono A36. Essa configuração promoveu um processo oxidativo acelerado na região composta por aço carbono, resultando em desgastes significativos com uma vida útil histórica inferior a 6 anos. Este fenômeno, associado ao diferencial de potencial eletroquímico entre os materiais, intensifica os efeitos da corrosão e indica que o material utilizado na confecção do projeto não foi o mais adequado, atentando-se que dentro de um projeto se busca modelos matemáticos que descrevem o estado atual de uma máquina em termos de resistência, levando em conta a estática, dinâmica, fadiga, rigidez, resistência à corrosão, resistência ao calor e à tribo dos materiais utilizados em sua concepção, critérios recomendados por Yunus e Suleyman (2020) e conforme cotações em estabelecimentos comerciais, há lavadores de gases com o preço mais barato e uma durabilidade maior (METALÚRGICA FIALHO, 2024).

A temperatura não teve um impacto significativo na corrosão do lavador de gás, especialmente levando em consideração que o equipamento opera a temperaturas relativamente baixas, em torno de 48°C. Em condições como essas, a taxa de corrosão tende a ser reduzida, uma vez que a maioria dos processos corrosivos, particularmente os que envolvem reações químicas aceleradas, ocorre de forma mais intensa em faixas de temperatura mais altas (Fredriksson, 2001 e Fujita, 2000). Dado que Yao (2024) também observou ao constatar que a taxa de corrosão do aço de alta resistência aumentou drasticamente de 0,0914 mm/ano a 150ºC saltou para 1,2288 mm/ano a 350ºC.

No caso específico do lavador de gás, a operação em temperaturas mais baixas pode ter contribuído para a diminuição do risco de corrosão, pois temperaturas elevadas geralmente favorecem o aumento da umidade e a formação de compostos agressivos, como ácidos, que são conhecidos por acelerar os processos corrosivos. Assim, ao operar a 48°C, a temperatura pode não ter sido suficiente para gerar tais condições extremas.

Em suma, embora a temperatura seja um fator relevante em processos de corrosão, no contexto específico deste estudo, ela não se mostrou determinante, o que sugere que outros elementos do processo e do material devem ser analisados com maior profundidade, considerando o estudo de Tanupabrungsun *et al* (2013) que constatou que a corrosão diminuiu com o aumento da temperatura, devido à formação de camadas protetoras na superfície do aço, principalmente de carbonato de ferro ($FeCO_3$) e, acima de 150°C, também uma mistura de Fe_3O_4 e $FeCO_3$.

No contexto da literatura técnica, o valor de pH de 6,07 está na faixa ácida, este resultado indica que a concentração de íons de hidrogênio na amostra é maior do que a da água pura cujo pH é 7,0 (neutro), o que pode ter implicações significativas para outros processos químicos e biológicos, como o controle de corrosão em tubulações.

Já para os parâmetros de turbidez, o valor de 86,2 NTU é um resultado extremamente alto, pois a legislação estabelece limites de 1,0 NTU para água tratada e 0,5 NTU para água filtrada para a turbidez da água potável.

Referente a condutividade, o manual não estabeleça um limite legal para a condutividade, que para água potável, geralmente oscila entre 50 e 500 µS/cm e para água destilada ou deionizada, entre 0,5 e 3 µS/cm. O método correlaciona a condutividade com a concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e, portanto, um valor tão elevado indica a presença de grande quantidade de sais e íons dissolvidos

A combinação dos seus resultados, quando interpretada com base nos métodos padrão de análise e nas diretrizes de manuais como o da Funasa, aponta para uma água com qualidade seriamente comprometida, exigindo uma intervenção imediata no tratamento ou na fonte de captação.

6 CONCLUSÕES

A análise dos resultados revela que a queda do pH, o aumento da turbidez e a condutividade elétrica elevada são fatores cruciais no agravamento do ambiente corrosivo no lavador de gás, principalmente em áreas que utilizam aço carbono. Essas condições favorecem a aceleração dos processos de corrosão, comprometendo a integridade estrutural do equipamento e reduzindo sua vida útil. A combinação de pH baixo, alta turbidez e elevada condutividade elétrica cria um ambiente altamente agressivo, que não só afeta a eficiência do lavador de gás, mas também aumenta significativamente os custos de manutenção e operação devido à necessidade de reparos frequentes e substituição de componentes danificados.

Para mitigar esses efeitos adversos, é imperativo a implementação de sistemas de controle químico eficazes. O ajuste adequado do pH através da neutralização pode reduzir a agressividade do meio e minimizar os danos ao equipamento. Além disso, a diluição de sais e íons acumulados, por meio da reposição periódica de água, contribui para a redução da condutividade elétrica, controlando a corrosividade e melhorando a eficiência do processo. Tais medidas, se implementadas de forma adequada, podem resultar em um ambiente de operação mais estável e duradouro, minimizando os riscos de falhas prematuras.

Ademais, a utilização de materiais mais resistentes à corrosão, como ligas de aço inoxidável ou materiais compostos, ou ainda a aplicação de revestimentos protetores nas interfaces metálicas, representa uma estratégia adicional eficaz para prolongar a vida útil do lavador de gás. Revestimentos anticorrosivos, como epóxi ou outros materiais de alta resistência, são particularmente recomendados para proteger as áreas mais suscetíveis aos danos causados por agentes corrosivos.

O monitoramento contínuo dos parâmetros químicos da água, incluindo pH, turbidez e condutividade elétrica, é uma prática essencial para detectar variações e prever a possibilidade de danos à estrutura do equipamento. O uso de sistemas automatizados de monitoramento pode permitir ajustes em tempo real, garantindo uma operação mais eficiente e segura. Além disso, o monitoramento permite identificar precocemente qualquer anomalia, facilitando a manutenção preventiva e evitando paradas inesperadas.

Considerando os resultados obtidos, este estudo alcançou os objetivos de analisar os mecanismos de corrosão presentes em lavador de gás utilizado no

processo de impregnação de papel melamínico, identificar suas causas e propor soluções técnicas de mitigação.

As recomendações propostas podem ser aplicadas em outras plantas da região, a fim de serem mais assertivas em seus projetos, não apenas em lavadores de gases, mas em suas estruturas industriais como um todo.

É importante salientar que neste contexto, surge um campo fértil para a inovação em engenharia mecânica, com a busca por materiais que resistam a ambientes extremos impulsionando o desenvolvimento de novas ligas metálicas, polímeros de alto desempenho e revestimentos.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para futuros estudos no lavador de gás, pode-se investigar a formação de pilha galvânica na junção entre aço carbono 309 e aço inoxidável A36, considerando a diferença de potencial eletroquímico entre os materiais, a presença de eletrólitos no ambiente e os possíveis impactos na durabilidade estrutural. Esse estudo pode incluir a análise de fatores que aceleram a corrosão, como umidade e contaminantes, além da avaliação de estratégias de mitigação, como revestimentos protetivos ou barreiras dielétricas.

Outro tema relevante é o impacto da poluição atmosférica na corrosão dos materiais do lavador de gás, uma vez que sua localização, a 63 km do litoral e a 45,5 km de Porto Alegre, o expõe tanto à influência de sais marinhos em suspensão quanto aos poluentes industriais emitidos pelo distrito industrial da capital gaúcha. A interação entre esses agentes pode intensificar os processos corrosivos, tornando essencial a realização de testes de corrosão acelerada, o monitoramento da taxa de degradação dos metais e a avaliação da eficácia de diferentes métodos de proteção, como revestimentos anticorrosivos e ligas metálicas mais resistentes.

REFERÊNCIAS

APONTE, Bertila; ROMERO, Matilde F. de; RINCON, Oladis de; ARIAS, Silagdy; CONTRERAS, Melani; RAMOS, Jomar; COLLANTES, Raúl. **Corrosion costs in preventive and corrective maintenance in equipment and facilities in industry**. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, Percentil Scopus: 36% v. 31, n. Especial, p. 87-96, 2008.

AZZOPARDI, B. J. **Liquid distribution in Venturi scrubbers: the importance of liquid films on the channel walls**. Chemical engineering science, v. 48, n. 15, p. 28072813, 1993.

BABUTZKA, Martin; LEHMANN, Jens; BURKERT, Andreas. **Field exposure study under sheltered and open exposure conditions at different test sites in Germany:** First-year corrosion rate and atmospheric corrosivity. Materials and Corrosion, Percentil do Scopus: 73% v. 74, n. 5, p. 694-708, 2023.

BRASFAIBER. **Lavador de Gases**. Site comercial. Disponível em: https://www.brasfaiber.com.br/. Acesso em: 05/05/2024.

CHEN, Zhenyu; ZHU, Zhongliang; WANG, Bihiu; MA, Chenhao; LIU, Yutong; KHAN, Hasan Izhar; PAN, Peiyuan; ZHANG, Tianyi; WANG, Xishu; ZHANG, Naiqiang. **Effect of different loading conditions on corrosion fatigue crack growth rate of a nickel-based alloy in supercritical water**. International Journal of Fatigue, Percentil Scopus: 69%.v. 175, 2023.

FILLKPLAS. **Lavador de gases**. Site comercial. Disponível em: https://fillkplas.com.br/. Acesso em: 05/05/2024.

FREDRIKSSON, Patrik; SEETHARAMAN, Seshadri. **Thermodynamic studies of some Fe-Pt alloys by the solid electrolyte galvanic cell method**. Scandinavian journal of metallurgy, Percentil Scopus 95% v. 30, n. 4, p. 258-264, 2001.

FUJITA, Norihiko; MATSUURA, Chihiro; SAIGO, Kazuhiko. **Irradiation-enhanced corrosion of carbon steel in high temperature water**—in view of a cell formation induced by γ-rays. Radiation Physics and Chemistry, v. 58, n. 2, p. 139-147, 2000.

HOU, Baorong et al. **The cost of corrosion in China**. npj Materials Degradation. Percentil Scopus: 86% v. 1, n. 1, 2017.

ISO 9293:1994. **Information processing - Volume and file structure of flexible disk cartridges for information interchange.** International Organization for Standardization, 1994.

JONES, Douglas L.; ZAKRIYA, Sohail K. **Computer-based Design Optimization Including Cost And Environmental Factors.** WIT Transactions on The Built Environment, Percentil Scopus: 41%v. 31, 1970.

KOCH, Gerhardus H. et al. **Cost of corrosion in the United States**. In: Handbook of environmental degradation of materials, Percentil Scopus: 40%, William Andrew Publishing, 2005. p. 3-24.

KOCH, Gerhardus. **Cost of corrosion**: Trends in oil and gas corrosion research and technologies, Percentil Scopus 82%p. 3-30, 2017.

KUMAR, Naveen; CHOUBEY, Vikas. **Experimental investigation on hot corrosion, oxidation and microstructure of WC based cermet HVOF coating**. High Temperature Corrosion of Materials, Percentil Scopus: 73%.p. 1-20, 2023.

LEKATOU, Angeliki G.; TSOULI, Sófia. **Polarização cíclica de vergalhões de aço inoxidável austenítico corrugado em chuva ácida**: Efeito das cinzas volantes, pH e tipo de aço. Corrosão e Degradação de Materiais, Percentil do Scopus: 67%. v. 3, n. 1, p. 75-100, 2022.

METALÚRGICA FIALHO. **Lavadores de gases**. Site comercial. Disponível em: https://www.metalurgicafialho.com.br/. Acesso em: 05/05/2024.

NAGUIB, Ramez. **Advanced financial analysis:** for purchasing equipment. ASHRAE Journal, Percentil Scopus: 52%. v. 52, n. 6, p. 18-22, 2010.

NAZAROV, Andrej; THIERRY, Dominique; PROSEK, Tomas. **Formation of Galvanic Cells and Localized Corrosion of Zinc under Atmospheric Conditions**. In: NACE CORROSION.Percentil Scopus 47%. NACE, 2016. p. NACE-2016-7212.

NOGUERA, X. G.; ADROGUER, M. S.; SANCHO, F. J. L. **Influence of gas solute solubility in the absorption by jet-venturi washers.** Percentil Scopus: 40% AFINIDADBARCELONA-, n. 502, p. 654-662, 2002.

ROSE, David H. **Reducing corrosion costs through reliability centered design**. In: 2008 Annual Reliability and Maintainability Symposium. IEEE, 2008. p. 249-254.

SHEIKHBAHAEI, A.; ABDI, H. Bayati. **Molecular Oscillation Technology And Its Application On Corrosion And Scaling Control In Industrial Equipments.** In: NACE CORROSION. Percentil Scopus 71%. NACE, 2011. p. NACE-11385.

SULAIMAN, Nur Syazwina Uzma; SALIM, Siti Aisyah. **Using Analytical Hierarchy Process for Medical Equipment Maintenance and Replacement Decision in Malaysia Private Hospitals**. Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology, Percentil Scopus 54% v. 44, n. 1, p. 1-11, 2025.

TALLURI, Srinivas. **Single price system model for optimal decisions in capital equipment purchasing**. International Journal of production research, Percentil Scopus: 40% v. 40, n. 4, p. 1003-1016, 2002.

TANUPABRUNGSUN, Tanaporn; BROWN, Bruce; NESIC, Srdjan. **Effect of pH on CO2 corrosion of mild steel at elevated temperatures.** In: Nace Corrosion. Percentil Scopus 25% NACE, 2013. p. NACE-2013-2348.

TEMS, Robin D.; AL-ZAHRANI, Ahmed M. **Cost of corrosion in gas sweetening and fractionation plants.** NACE CORROSION, Percentil Scopus: 68% p. NACE-06444, 2006.

THEKKEPAT, Krishnamohan; HAN, Hyung-Seop; CHOI, Ji-Won; LEE, Seung-Cheol, YOON, Eul Sik; LI, Guangzhe; SEOK, Hyun-Kwang; KIM, Yu-Chan; KIM, Jae-Hun; CHA, Pil-Ryung. **Computational design of Mg alloys with minimal galvanic corrosion**. Journal of Magnesium and Alloys, Percenti Scopus: 92%, v. 10, n. 7, p. 1972-1980, 2022.

VALDEZ, Benjamin S; SCHORR, Michael. **Corrosion control in industry**. Environmental and Industrial Corrosion-Practical and Theoretical Aspects, 2012.

WEI,Wei; WANG, Zanxin. **Impact of industrial air pollution on agricultural production**. Percentil Scopus: 58%. Atmosphere, v. 12, n. 5, 2021.

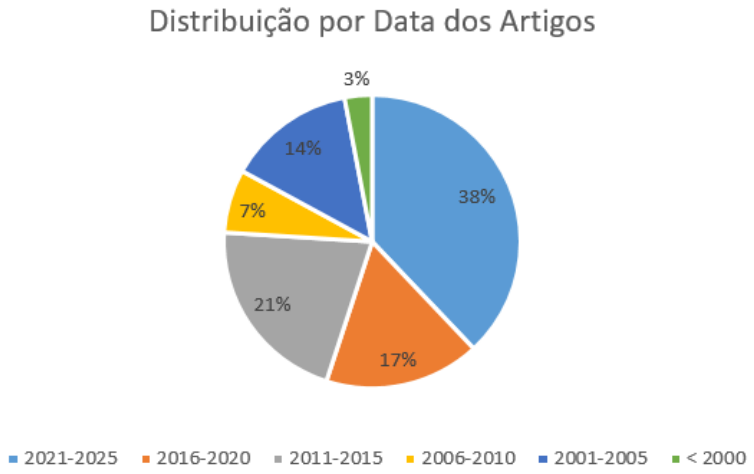
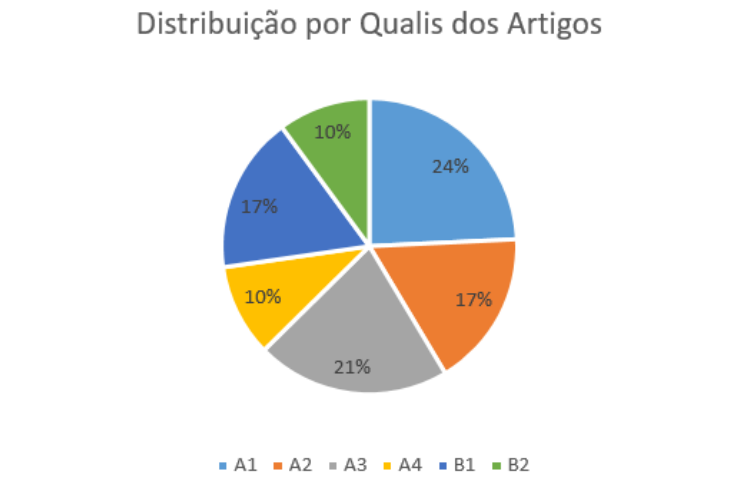
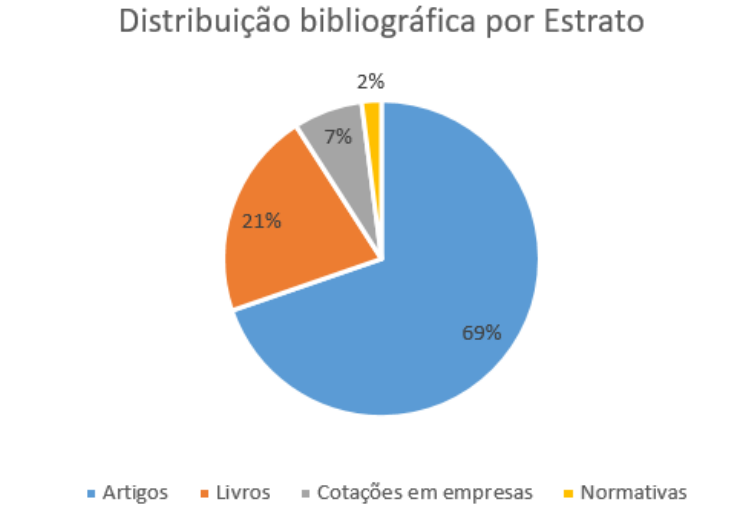
XIA, Yanming; ZHOU, Dejing; GAO, Zhiming; HU, Wenbin. **Study on the structural transformation of 6xxx composite fourlayer aluminum alloy sheet during brazing and artificial aging and its influence on strengthening and corrosion behavior**. Corrosion Science, Percentil Scopus: 88% v. 229, 2024.

YAO, Jinxing; ZHONG, Xiankang; ZHANG, Zhixin; FAN, Zijian; HU, Junying; WANG, Jue. **The fitness and corrosion mechanisms of high-strength steel in corrosive oil–water environment at high temperature**. Materials and Corrosion, v. 75, n. 2, p. 247-265, 2024.

YU, Dongliang; JIANG, Bo; WANG, Cao; QI, Xing; SONG, Renguo. **Effect of Electrolyte Ph Value on Microstructure and Corrosion Resistance of Black MAO Coating on 6063 Aluminum Alloy**. Available at: https://ssrn.com/abstract=4739988. Acesso em: 05 dez. 2023.

YUE, Panpan; YANG, Xue-xi; ZHANG, Min; ZHAO, Ting; ZHAO, Ting; LIU, Zheng Yu; LIU, Peng; PENG, Feng; WU, X iangyang. **Eco-friendly epoxidized Eucommia ulmoides gum based composite coating with enhanced super-hydrophobicity and corrosion resistance Properties**. Culturas e produtos industriais. 2024. Vol. 214. p. 118523.

YUNUS, Aslanov Zabit; SULEYMAN, Zeynalova Mehriban; MUSEIB, Abdullayeva Sevinj. **Improving the optimization of the life cycle of engineering products**. International Journal of Advanced Science and Technology, Percentil Scopus 25% v. 29, n. 4, p. 1989-1994, 2020.

ZENG, Juying; HE, Qiuqin. **Does industrial air pollution drive health care expenditures? Spatial evidence from China.** Journal of Cleaner Production, Percentil Scopus: 90%. v. 218, p. 400-408, 2019.

REFERÊNCIAS POR DATA, QUALIS E ESTRATO