



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CORROSÃO EM AMBIENTES REFRIGERADOS: ANÁLISE DE CASOS E SEUS
IMPACTOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

BRUNO SILVA SACRAMENTO

**Tucuruí – PA
2025**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CORROSÃO EM AMBIENTES REFRIGERADOS: ANÁLISE DE CASOS E SEUS
IMPACTOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

BRUNO SILVA SACRAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de
Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do
título bacharel em Engenheiro Mecânico.

Orientador:
Prof. Dr. Fernando Nunes da Silva

**Tucuruí – PA
2025**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CORROSÃO EM AMBIENTES REFRIGERADOS: ANÁLISE DE CASOS E SEUS
IMPACTOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

BRUNO SILVA SACRAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de
Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Fernando Nunes da Silva
FEM/CAMTUC/UFPA

Membro Interno: Prof. Me. Arthur dos Reis Lemos Fontana
FEM/CAMTUC/UFPA

Membro externo: Prof. Dr. Jardel Dantas da Cunha
UFERSA

**Conceito: Excelente.
Tucuruí, 21 de março de 2025.**

A Deus, meus pais, meus familiares
e aos amigos....
esta pesquisa é dedicada a todos vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar forças para alcançar meus objetivos.

Aos meu país, Josete e Fabio por me dar apoio incondicional.

A minha família, por todo amor e apoio.

Ao meu grande amigo Igor Galvão (*in memorian*), por me incentivar e me apresentar o curso.

Aos meus amigos, Pedro, Paulo, Odinaldo e Alex, pelo companheirismo e amizade durante minha caminhada na faculdade.

A Rayssa pelo apoio e incentivo durante parte dessa caminhada.

Ao meu grande amigo André por ser meu braço direito.

Ao meu orientador Professor Fernando, pela dedicação aos alunos e orientação exemplar.

A UFPA/CAMTUC, pela oportunidade de fazer o curso.

CORROSÃO EM AMBIENTES REFRIGERADOS: ANÁLISE DE CASOS E SEUS IMPACTOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

RESUMO

O objetivo deste estudo é investigar os impactos da corrosão em ambientes de baixa temperatura na indústria de alimentos, especialmente em frigoríficos. A pesquisa busca responder: como a corrosão afeta a operação industrial e quais materiais são mais adequados para minimizar seus efeitos? A metodologia incluiu revisão bibliográfica e estudo de caso em um frigorífico, com análise visual de equipamentos corroídos. Os resultados apontam que a umidade e substâncias químicas aceleram a corrosão, afetando a durabilidade dos equipamentos e a segurança alimentar. A adoção de materiais resistentes, inspeções regulares e novas técnicas de soldagem são essenciais para mitigar esses impactos.

Palavras-chave: *Degradação dos materiais. Ambientes refrigerados. Manutenção industrial. Frigorífico. Segurança alimentar.*

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the impacts of corrosion in low-temperature environments in the food industry, especially in cold storage. The research seeks to answer: how does corrosion affect industrial operation and what materials are best suited to minimize its effects? The methodology included a literature review and a case study in a meat processing plant, with visual analysis of corroded equipment. The results show that humidity and chemical substances accelerate corrosion, affecting equipment durability and food safety. The adoption of resistant materials, regular inspections and new welding techniques are essential to mitigate these impacts.

Keywords: *Degradation of materials. Refrigerated environments. Industrial maintenance. cold storage. Food safety.*

Sumário

Considerações iniciais	9
Metodologia.....	10
Análise dos dados e resultados	12
Considerações finais	24
Referências	27

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A corrosão é um fenômeno natural de degradação de materiais metálicos que impacta diversos setores industriais, incluindo a indústria de alimentos, especialmente em ambientes de baixa temperatura. A exposição constante dos equipamentos a agentes químicos, umidade e variações térmicas cria um ambiente propício para a corrosão, comprometendo a integridade estrutural dos materiais, a eficiência operacional e a segurança alimentar. No contexto industrial, a corrosão não apenas reduz a vida útil dos equipamentos, aumentando os custos de manutenção e substituição, mas também representa um risco à qualidade dos produtos alimentícios, podendo levar à contaminação química e microbiológica (Póvoa, 2017).

Na indústria de alimentos, a escolha adequada dos materiais para fabricação de equipamentos é fundamental para garantir durabilidade e evitar riscos sanitários. O aço inoxidável é amplamente utilizado devido à sua alta resistência à corrosão, especialmente em ambientes que exigem rigorosos padrões de higiene. No entanto, mesmo materiais considerados resistentes podem sofrer processos corrosivos quando submetidos a condições severas, como a presença de cloretos e baixas temperaturas, que favorecem fenômenos como corrosão galvânica e por pites (De Souza, 2024). Além do aço inoxidável, outros metais, como o aço e ligas metálicas de alta resistência, são empregados na indústria, mas frequentemente enfrentam desafios significativos ao serem expostos a ambientes agressivos.

A corrosão em equipamentos industriais pode comprometer a qualidade e segurança dos alimentos ao liberar partículas metálicas e resíduos. Para mitigar esses riscos, a *Brand Reputation Compliance Global Standards* (BRCGS) definiu normas como a *BRCGS Food Safety*, que estabelecem diretrizes para a integridade estrutural, recomendando o uso de materiais resistentes à corrosão, boas práticas de fabricação (BPF) e inspeções periódicas (BRCGS, 2022).

No Brasil, a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) 498/2021 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) define critérios para a composição e migração de substâncias dos materiais metálicos na indústria de alimentos, prevenindo a contaminação. Assim, a análise da corrosão em baixa temperatura é essencial para mitigar impactos e garantir a segurança alimentar (ANVISA, 2021).

Diante desse cenário, o presente estudo busca responder à seguinte questão: como a corrosão em ambientes de baixa temperatura impacta a operação da indústria de alimentos e qual a influência dos materiais utilizados nos equipamentos nesse processo? Essa investigação é fundamental, uma vez que a corrosão pode resultar em custos elevados com manutenção

corretiva e substituição de equipamentos, além de comprometer a qualidade do produto final e a conformidade com normas sanitárias e de segurança.

Partindo dessa problemática, algumas hipóteses são levantadas. Primeiramente, é possível supor que a seleção inadequada de materiais em condições de baixa temperatura acelere os processos corrosivos. Além disso, considera-se que a aplicação de técnicas de proteção, como revestimentos anticorrosivos e o uso de materiais de alta resistência, pode minimizar os efeitos da corrosão (Pereira, 2019).

A relevância deste estudo está em assegurar eficiência e segurança nos processos da indústria alimentícia. A corrosão, além de gerar impactos financeiros expressivos, pode comprometer a qualidade e a segurança dos alimentos processados, afetando diretamente a saúde dos consumidores. Dessa forma, este trabalho busca não apenas contribuir para o aprimoramento das práticas industriais, mas também expandir o conhecimento científico sobre os efeitos da corrosão em ambientes específicos.

O objetivo geral deste trabalho é investigar os impactos da corrosão na indústria de alimentos, com foco nos ambientes refrigerados. Os objetivos específicos são: (1) analisar os fatores que contribuem para a corrosão nos materiais utilizados na indústria de alimentos; (2) avaliar os métodos de proteção contra corrosão em ambientes refrigerados; e (3) identificar soluções tecnológicas e materiais alternativos que possam aumentar a durabilidade dos equipamentos.

METODOLOGIA

A presente pesquisa adotou uma abordagem qualitativa e quantitativa, caracterizada por ser exploratória e descritiva, seguindo os preceitos de que a pesquisa exploratória busca proporcionar maior familiaridade com o problema para torná-lo explícito (Gil, 2002). O estudo foi dividido em duas partes principais: uma revisão bibliográfica e um estudo de caso. A pesquisa bibliográfica teve como objetivo identificar e analisar o conhecimento consolidado sobre corrosão em ambientes de baixa temperatura, com foco no setor alimentício, visando compreender os impactos desse fenômeno nos equipamentos e nos processos industriais relacionados. A segunda etapa envolveu a análise de casos práticos de corrosão em uma indústria alimentícia do setor de abate bovino, por meio de avaliação visual, utilizando fotografias para registrar os danos nos equipamentos, além do levantamento de dados que ilustram os efeitos corrosivos identificados.

Para a revisão bibliográfica, foram consultados artigos científicos, teses, dissertações e trabalhos acadêmicos que abordam o tema da corrosão em diferentes ambientes e materiais, com foco especial em ambientes de baixa temperatura. A pesquisa bibliográfica permite o desenvolvimento teórico necessário para fundamentar estudos empíricos e compreender o estado da arte de um determinado campo de estudo (Marconi; Lakatos, 2019). A busca pelos documentos foi realizada em bases de dados reconhecidas, como Scopus, Google Scholar e ScienceDirect, utilizando os seguintes operadores booleanos: “AND”, “OR” e “NOT”. As palavras-chave empregadas foram, por exemplo, “corrosão”, “indústria de alimentos”, “baixa temperatura”, “equipamentos industriais” e “materiais resistentes à corrosão”.

Os critérios de inclusão dos materiais de pesquisa envolveram a seleção de artigos e estudos publicados entre 2002 e 2024, com foco em publicações recentes que discutem avanços tecnológicos e novas descobertas sobre a corrosão em ambientes específicos. Para enriquecer o estudo, foram incluídos trabalhos que abordam o desempenho de materiais como aços inoxidáveis, aço carbono e materiais resistentes à corrosão em ambientes refrigerados, assim como métodos de prevenção da corrosão nesses contextos.

O estudo de caso foi conduzido em um frigorífico para abate bovino na região amazônica, onde foram documentados diversos exemplos de corrosão em ambientes refrigerados. Fotografias dos equipamentos corroídos foram tiradas para serem apresentadas ao longo do trabalho, ilustrando os danos causados pela corrosão em ambientes de baixa temperatura. O uso de imagens é uma estratégia recomendada para dar maior tangibilidade aos estudos de caso e proporcionar uma melhor compreensão do fenômeno investigado (Gil, 2002).

As imagens obtidas permitiram uma análise mais detalhada dos materiais utilizados nos equipamentos, bem como das condições operacionais específicas às quais estavam submetidos. Esse procedimento se justifica pela abordagem que destaca a importância de coletar dados diretamente da fonte para a validação de hipóteses e o enriquecimento do estudo (Marconi; Lakatos, 2019). A combinação da pesquisa bibliográfica com o estudo de caso permitiu uma análise abrangente do tema, identificando tanto os aspectos teóricos quanto as implicações práticas da corrosão na indústria de abate bovino.

A coleta e análise dos dados seguiram um protocolo sistemático, no qual foram analisados cerca de 16 artigos científicos e estudos de caso. Além disso, foram utilizadas informações da literatura sobre a corrosão e suas implicações no desempenho de materiais em ambientes de baixa temperatura. A integração de dados teóricos e práticos forneceu uma base

sólida para as discussões e análises subsequentes, mostrando como a corrosão pode comprometer a eficiência operacional e a segurança na indústria de alimentos.

ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

A corrosão em ambientes industriais refrigerados, como frigoríficos, é uma preocupação constante, dado seu impacto direto na integridade estrutural e na segurança alimentar. A exposição contínua a umidade, substâncias químicas de higienização e materiais alimentares cria um ambiente favorável à degradação de componentes metálicos. Nesse contexto, são apresentados a seguir registros fotográficos de corrosão observada em componentes específicos de um frigorífico, como: suporte para bandeja plástica, estrutura de nória¹, painéis isotérmicos e conexões hidráulicas com válvulas esféricas. Evidenciando como esses fenômenos podem comprometer as instalações, desde pontos de solda até áreas de maior desgaste por oxidação. O estudo desses casos específicos é essencial para entender as causas e os efeitos da corrosão no setor alimentício.

As imagens analisadas revelam detalhes importantes sobre a degradação de materiais, com destaque para a corrosão galvânica e por pites, típicas de ambientes refrigerados e alta umidade. Através dessas ilustrações, será possível discutir não apenas os aspectos técnicos envolvidos, mas também as consequências práticas para a manutenção e operação dos equipamentos. Esses exemplos visuais servirão como base para uma discussão mais ampla sobre a importância de estratégias preventivas, como o uso de materiais mais resistentes e a implementação de inspeções regulares, a fim de prolongar a vida útil das estruturas e garantir a segurança nos processos industriais

¹ Nória é um sistema de transporte contínuo utilizado em frigoríficos para a movimentação de carcaças ao longo das diferentes etapas do processamento.

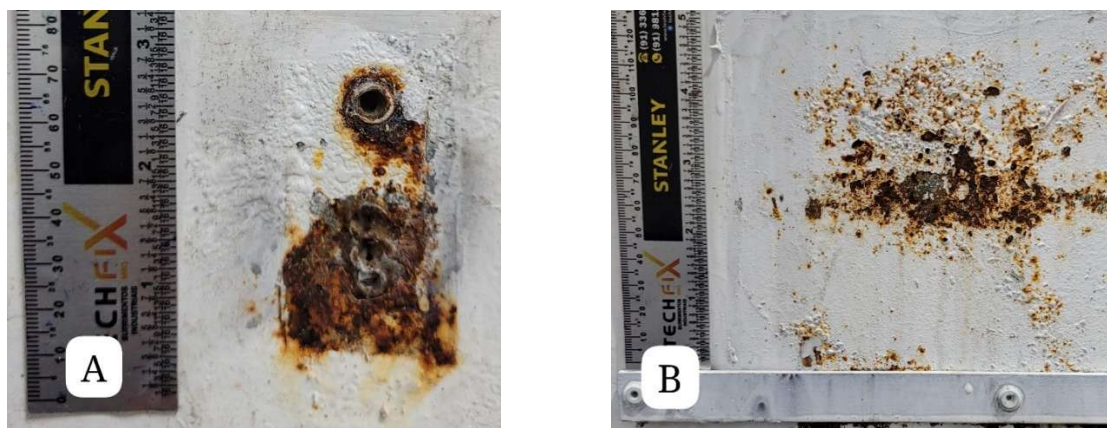
Figura 1 - (a) Suporte para bandeja plástica; (b) Suporte para bandeja plástica; (c) Suporte para bandeja plástica.



Fonte: autoria própria

Para a análise da corrosão em suporte para bandeja plástica em ambiente frigorífico (Figuras 1a, 1b e 1c) Foram feitos registros fotográficos evidenciando sinais de degradação por corrosão. A inspeção revelou sinais de corrosão localizada nas regiões de solda indicando a diferença de potencial entre as regiões, além disso na base do suporte foram observados corrosão galvânica pela diferença de materiais na sua construção, onde os parafusos são construídos em aço inoxidável e as porcas em aço carbono, por fim as juntas soldadas revelam sinais de degradação localizada devido ao acúmulo de água. A estrutura analisada é fabricada em aço inoxidável 304, material conhecido por sua resistência à corrosão, mas que pode sofrer degradação em ambientes com alta umidade e agentes químicos agressivos, como cloretos. Esse fenômeno foi possivelmente agravado pela exposição a umidade elevada e baixas temperaturas, que favorecem a formação de condensado e dificultam a secagem superficial do metal. Além disso, observa-se que a presença de substâncias de limpeza e agentes químicos contribui para a aceleração do processo corrosivo (Lavor; Moura, 2018).

Figura 2 - (a) e (b) Painel isotérmico.



Fonte: autoria própria

A corrosão observada no painel isotérmico com estrutura externa de aço galvalume²(Figuras 2a e 2b) mesmo com a presença de tinta a base de poliuretano, indica a ocorrência de um processo de degradação avançado do revestimento metálico. Observa-se que o processo corrosivo foi iniciado na região dos parafusos decorrente ao mecanismo de corrosão por fresta. O aço galvalume possui uma camada protetora composta por alumínio e zinco, que normalmente oferece alta resistência contra agentes corrosivos. No entanto, em ambientes de refrigerados e alta umidade, como frigoríficos, a condensação contínua e o acúmulo de água podem comprometer essa proteção. Pequenas fissuras ou imperfeições na tinta expõem o revestimento ao contato com a umidade e agentes químicos presentes no ambiente, acelerando a corrosão ao longo do tempo.

Além disso, o alumínio presente no revestimento forma uma barreira passiva contra a corrosão, mas, quando essa camada é danificada, o zinco entra em ação como um elemento de sacrifício para proteger o aço subjacente. Esse processo, conhecido como corrosão galvânica localizada, pode levar à formação de pontos de oxidação intensa, principalmente em áreas onde a tinta foi comprometida. Com o tempo, a degradação da camada protetora expõe diretamente o aço à umidade, resultando em corrosão acelerada, perda de material e possíveis falhas estruturais na superfície do painel isotérmico (Vasques, 2016).

² O aço Galvalume é um tipo de aço revestido com uma liga composta por 55% de alumínio, 43,5% de zinco e 1,5% de silício. Esse revestimento confere ao material uma excelente resistência à corrosão, combinando a proteção galvânica do zinco com a barreira protetora proporcionada pelo alumínio.

Figura 3 – Válvula esférica de inox 304 e conexão hidráulica de aço 1112.



Fonte: autoria própria.

No caso estudado na Figura 3, apresenta um cenário de corrosão acentuada em uma válvula esférica de aço inox 304 e uma mangueira com conexão de aço carbono 1112, expostas a um ambiente de baixa temperatura. A oxidação observada é um indicativo de um fenômeno conhecido como corrosão induzida por condensação, que ocorre devido à condensação da umidade do ar sobre as superfícies metálicas frias, criando uma fina camada de líquido resfriado. Em frigoríficos, a alta umidade relativa combinada com ciclos de congelamento e descongelamento pode intensificar a formação de pontos de corrosão, especialmente em materiais como o aço carbono, que tem menor resistência à corrosão em comparação ao aço inoxidável.

Figura 4 - (a) Estrutura de sustentação de nória; (b) Estrutura de sustentação de trilhos



Fonte: Autoria própria

Na figura 4a e 4b observada foi realizada uma solda entre o aço carbono 1045 e o aço inox 304 nas estruturas da nória e da sustentação dos trilhos indica a ocorrência de degradação acelerada devido à diferença entre os materiais unidos, originando assim a corrosão galvanica. O aço inoxidável 304 possui resistência à corrosão devido à presença de cromo, que forma uma camada passiva protetora, enquanto o aço carbono 1045 conter maior teor de carbono sendo ainda mais suscetível à corrosão, especialmente em ambientes úmidos e frios, como frigoríficos. Durante a soldagem, alterações microestruturais na Zona Termicamente Afetada (ZTA) podem reduzir a resistência à corrosão, criando regiões mais vulneráveis. Se a soldagem não for feita com consumíveis apropriados ou se houver contaminação do aço inox por partículas de ferro, a camada protetora pode ser comprometida, tornando o material mais propenso à oxidação localizada.

Além da corrosão galvânica, a corrosão por pites³ pode ocorrer na região da solda e nas proximidades, principalmente no aço inox 304. Esse tipo de corrosão se manifesta como pequenos pontos de perfuração na superfície metálica, causados pela quebra da camada passiva protetora em presença de cloretos ou umidade constante. Em frigoríficos, onde a umidade condensada pode conter traços de sais e outras impurezas, esse processo se intensifica, formando pontos de corrosão profunda que podem comprometer a integridade estrutural da junta soldada. Com o tempo, essas pequenas perfurações podem crescer e levar a falhas estruturais, reduzindo a vida útil dos componentes e aumentando o risco de colapso da sustentação dos trilhos e da nória (Rodrigues, 2021; Pereira, 2019).

A análise das imagens acima mostra áreas de corrosão em estruturas metálicas de um frigorífico, é fundamental para compreender os impactos deste fenômeno no ambiente industrial, particularmente na indústria de alimentos.

A presença de corrosão observada nas imagens sugere que houve um processo gradual de degradação do material, possivelmente devido à exposição a substâncias corrosivas como cloretos e à umidade. Essa deterioração compromete não apenas a integridade das estruturas metálicas, mas também a segurança e a higiene do ambiente, elementos fundamentais em um frigorífico (Lavor; Moura, 2018). A oxidação visível nas imagens, especialmente em pontos críticos como junções e soldas, revela vulnerabilidades que podem acelerar o processo corrosivo em razão da dificuldade de manutenção nesses pontos, além da possível utilização de materiais inadequados para esse tipo de ambiente (Caetano, 2016).

³ A morfologia de pites refere-se às características das cavidades formadas pela corrosão localizada em materiais metálicos. Essas cavidades podem ter formas e tamanhos variados, geralmente arredondados ou irregulares, e sua distribuição pode ser esparsa ou concentrada.

No contexto industrial, a corrosão não apenas reduz a vida útil e eficiência dos equipamentos, como também representa um potencial risco de contaminação química e microbiológica para os produtos alimentícios, uma vez que partículas de “ferrugem” podem entrar em contato com os alimentos. Além disso, a fragilidade estrutural resultante compromete a capacidade de suportar cargas e tensões, aumentando o risco de falhas mecânicas (Lavor; Moura, 2018).

Portanto, é indispensável a adoção de medidas preventivas e corretivas para mitigar os efeitos da corrosão em frigoríficos. A escolha de materiais adequados, como aço inoxidável com alta resistência à corrosão, aliada à aplicação de revestimentos protetores, constitui uma estratégia crucial para aumentar a durabilidade dos equipamentos. Além disso, a realização de manutenções regulares e inspeções contínuas das instalações é essencial para detectar precocemente eventuais problemas e implementar soluções antes que ocorram danos mais graves.

Em um estudo realizado sobre a interação entre erosão e corrosão de aços inoxidáveis e ao carbono, foi observado que a presença de cloretos e outros agentes corrosivos pode acelerar o processo de deterioração, comprometendo a longevidade dos materiais utilizados na indústria de alimentos (De Souza *et al.*, 2024).

As imagens analisadas de estruturas metálicas em frigoríficos evidenciaram corrosão em pontos críticos, como soldas e junções, áreas particularmente vulneráveis pela dificuldade de manutenção e pela exposição prolongada a substâncias corrosivas. Tais efeitos podem ser potencializados pelo uso inadequado de materiais para esses ambientes específicos. Estudos sugerem que a escolha de materiais adequados, como aços inoxidáveis com maior resistência à corrosão, pode minimizar esses danos, mas a falta de manutenção adequada contribui significativamente para o avanço da degradação (Póvoa, 2017; Caetano, 2016). Nesse sentido, a necessidade de uma abordagem estratégica para mitigação da corrosão é evidente, com a adoção de medidas preventivas, como revestimentos protetores e inspeções regulares, tornando-se imperativas (Kobilacz; Pariona, 2021).

A corrosão observada em ambientes de baixa temperatura também resulta em impactos diretos na operação e segurança alimentar. A presença de partículas de ferrugem, decorrente da degradação de estruturas metálicas, pode contaminar os produtos alimentares, aumentando os riscos de segurança para o consumidor final. Em adição, a fragilidade estrutural, causada pela corrosão, compromete a capacidade das estruturas em suportar tensões mecânicas, o que pode resultar em falhas catastróficas (Júnior *et al.*, 2023). Em estudos realizados sobre a variação da

temperatura na resistência de ligas de aço inoxidáveis superferríticos com alto teor de molibdênio, foi demonstrado que, ainda que materiais resistentes sejam utilizados, a corrosão permanece uma preocupação em ambientes industriais de alta umidade, necessitando de proteção adicional e manutenção constante (Lavor; Moura, 2018).

Além disso, os métodos de proteção contra a corrosão aplicados na indústria de alimentos têm se mostrado variados, mas com graus de sucesso diferenciados. A adoção de revestimentos específicos e a utilização de ligas de metais mais resistentes à corrosão são algumas das estratégias mais comuns (Mesquita, 2022).

Outro ponto observado é o efeito sinérgico entre as condições internas, como a alta umidade e as baixas temperaturas, e a corrosão dos metais. Esse dado é particularmente relevante para a indústria de alimentos, onde frigoríficos são ambientes expostos a essas condições de forma constante. A escolha inadequada de materiais, como o aço carbono em vez do aço inoxidável, pode acelerar a degradação, demandando substituições frequentes e aumentando os custos operacionais (Rodrigues, 2021; Pereira, 2019).

A corrosão em ambientes de baixa temperatura na indústria de abate bovino é um desafio significativo, especialmente devido à alta umidade e à presença de agentes agressivos, como cloretos e compostos ácidos. Diversos estudos têm investigado os efeitos da corrosão em diferentes materiais utilizados nessas condições, analisando os mecanismos envolvidos e os principais fatores que contribuem para a degradação dos componentes metálicos. A Tabela 1 apresenta um compilado dos principais resultados desses estudos, destacando os autores, os materiais analisados e as conclusões obtidas sobre os tipos de corrosão predominantes nesses ambientes.

Tabela 1 – Principais resultados dos estudos de corrosão em ambientes de baixa temperatura na indústria de alimentos.

AUTOR	ESTUDO	RESULTADOS PRINCIPAIS
Caetano (2016)	Soldagem de aços inoxidáveis ferríticos	Soldas são áreas vulneráveis à corrosão devido à exposição prolongada e à dificuldade de manutenção.
De Souza <i>et al.</i> (2024)	Interação de erosão e corrosão em aços	A presença de cloretos acelera a degradação dos metais, comprometendo a durabilidade de aços inoxidáveis.
Júnior <i>et al.</i> (2023)	Corrosão de carcaças metálicas	A corrosão compromete a integridade estrutural, aumentando os riscos de falhas mecânicas.

Kobilacz; Pariona (2021)	Solidificação de aços inoxidáveis	A escolha inadequada de materiais em ambientes frios favorece a corrosão, mesmo com materiais resistentes.
Lavor; Moura (2018)	Resistência à corrosão de ligas de aço superferrítico	A resistência de ligas de aço inoxidáveis é afetada por variações de temperatura e ambientes de alta umidade.
Luz (2018)	Monitoramento de corrosão em diversos metais	Condições climáticas adversas aumentam significativamente a taxa de corrosão, especialmente em aço carbono.
Mesquita (2022)	Estudo de caso sobre corrosão	Métodos de proteção, como revestimentos protetores, são essenciais, mas requerem manutenção constante.
Póvoa (2017)	Aço inoxidável na indústria de alimentos	O aço inoxidável apresenta melhor resistência à corrosão em comparação a outros metais usados na indústria.
Rodrigues (2021)	Deformação a frio em aços inoxidáveis	Deformações e processamento a frio podem aumentar a suscetibilidade à corrosão de aços inoxidáveis.

Fonte: Autoria própria (2025)

A seguir, será realizada uma discussão, abordando questões para o entendimento dos impactos da corrosão na indústria de alimentos em ambientes de baixa temperatura. Serão explorados, em detalhes, a influência das ligas metálicas na resistência à corrosão, os efeitos da corrosão na segurança alimentar e na qualidade dos produtos, os métodos eficazes de monitoramento e prevenção da corrosão, além de uma análise comparativa entre os métodos tradicionais e inovadores de soldagem para reduzir o problema em equipamentos industriais. Essas discussões são fundamentais para uma compreensão abrangente das soluções práticas e tecnológicas que podem ser aplicadas no setor industrial para minimizar os efeitos da corrosão e garantir a eficiência e segurança das operações.

A influência das ligas metálicas na resistência à corrosão em ambientes de baixa temperatura

A resistência à corrosão em ambientes de baixa temperatura está fortemente associada à composição e às características das ligas metálicas utilizadas na indústria. Ligas metálicas adequadas são essenciais para garantir a durabilidade das estruturas, especialmente em ambientes que combinam umidade e baixas temperaturas, como os encontrados na indústria de alimentos, em frigoríficos. Nesses ambientes, a escolha correta dos materiais pode reduzir significativamente os impactos da corrosão, aumentando a vida útil dos equipamentos e prevenindo problemas de contaminação dos alimentos. O aço inoxidável se destaca pela sua

resistência à corrosão quando comparado ao aço carbono fosfatizado, principalmente em ambientes onde a exposição à umidade é constante (Shimoda,2021).

Aços inoxidáveis com altos teores de molibdênio e cromo apresentam desempenho superior em ambientes de baixa temperatura. A adição de molibdênio em ligas inoxidáveis superferríticas melhora significativamente sua resistência à corrosão localizada, especialmente em ambientes agressivos, como os que contêm substâncias químicas provenientes de produtos alimentares ou agentes de limpeza (Lavor; Moura,2018). As ligas com alto teor de molibdênio, por exemplo, têm se mostrado eficazes na prevenção da corrosão por pites, uma forma localizada de corrosão que é comum em frigoríficos devido à condensação e à presença de cloretos. Esse fator é fundamental para a escolha dos materiais na fabricação de equipamentos e estruturas que operam sob essas condições, uma vez que a integridade estrutural é crucial para garantir a segurança alimentar.

Além disso, o uso de ligas metálicas inadequadas pode levar ao fenômeno da corrosão galvânica, que ocorre quando dois metais diferentes estão em contato em um ambiente condutivo, como a combinação de baixa temperatura e alta umidade. A escolha de materiais compatíveis e a aplicação de revestimentos anticorrosivos são estratégias para mitigar esse tipo de corrosão. Estudos demonstram a eficácia de revestimentos de conversão química em substratos de alumínio em ambientes de baixa temperatura, sugerindo que esse tipo de tratamento pode ser aplicado em equipamentos da indústria de alimentos para melhorar a resistência à corrosão (Yao; Zhang; Xin, 2024).

Outra consideração importante é a soldagem de materiais metálicos, que pode influenciar diretamente a resistência à corrosão das ligas utilizadas. A escolha do tipo de soldagem e a compatibilidade entre os materiais podem reduzir significativamente a suscetibilidade à corrosão nas zonas afetadas pelo calor. A soldagem inadequada pode gerar microfissuras e zonas com concentração de tensões, onde a corrosão tende a iniciar. Portanto, é fundamental que a soldagem de ligas metálicas em ambientes de baixa temperatura seja realizada de forma controlada, com materiais apropriados e procedimentos específicos para evitar falhas prematuras nas juntas soldadas (Caetano, 2016).

Em adição, em estruturas onde são utilizados elementos de fixação, como parafusos e suportes, a escolha de materiais resistentes à corrosão é igualmente importante (Souza; Shimoda, 2021). Elementos de fixação de aço inoxidável, por exemplo, apresentam maior durabilidade e menor suscetibilidade à corrosão, comparados a elementos de aço carbono fosfatizado, que tendem a corroer mais rapidamente em ambientes úmidos e frios. Isso

demonstra a importância de considerar todas as partes da estrutura ao escolher os materiais, uma vez que a corrosão em pequenos componentes pode comprometer a integridade de todo o sistema.

As ligas como o aço inoxidável com teor de cromo acima de 11% que é responsável por formar uma camada passiva de óxido na superfície do metal, oferecem maior proteção contra a corrosão em comparação com outras opções de metais, como o aço carbono fosfatizado (Souza; Shimoda, 2021). No entanto, a resistência desses materiais pode ser aprimorada ou comprometida dependendo de suas composições químicas e tratamentos térmicos.

Além disso, a influência de processos de deformação mecânica sobre a resistência à corrosão é outro aspecto a ser considerado. A transformação martensítica por deformação a frio em aços inoxidáveis austeníticos, destacando como a austenita pode se transformar em martensita sob a ação de forças mecânicas externas (Rodrigues, 2021). A formação de martensita α' , que resulta em uma microestrutura mais resistente e dura, pode ser vantajosa em certos contextos industriais, mas ao mesmo tempo pode comprometer a uniformidade da dureza e reduzir a ductilidade do material. Esse fenômeno é particularmente relevante para a indústria de alimentos, onde as estruturas metálicas estão constantemente expostas a ciclos de carga e descarga, o que pode induzir deformações localizadas que favorecem essa transformação microestrutural. A transformação martensítica, embora beneficie a resistência mecânica, pode aumentar a suscetibilidade à corrosão, especialmente em ambientes de baixa temperatura.

Assim, a combinação de fatores como composição química, tratamentos térmicos e deformação mecânica impacta diretamente a performance das ligas metálicas em ambientes de baixa temperatura. No contexto dos frigoríficos, onde a corrosão é um problema constante devido à alta umidade e ao uso de agentes de limpeza agressivos, a escolha de ligas com alto teor de molibdênio e níquel, pode ser uma solução eficaz (Lavor; Moura, 2018). Além disso, a deformação a frio, deve ser controlada para evitar a formação excessiva de martensita α' , que pode reduzir a ductilidade dos materiais e aumentar a suscetibilidade à corrosão localizada em áreas de tensão (Rodrigues, 2021).

A seleção adequada de ligas metálicas e o controle dos processos de fabricação, como tratamentos térmicos e métodos de soldagem, são essenciais para maximizar a resistência à corrosão em ambientes de baixa temperatura.

Efeitos da corrosão na segurança alimentar e métodos de prevenção em ambientes de baixa temperatura

A presença de corrosão em estruturas metálicas pode levar à contaminação dos produtos alimentícios, uma vez que fragmentos de óxido de ferros ou outras substâncias corrosivas podem ser transferidas para os alimentos, comprometendo sua qualidade e segurança (Luz, 2018). Em situações em que as temperaturas são mantidas em níveis baixos para preservar a integridade dos alimentos, a umidade e a presença de substâncias químicas de limpeza podem exacerbar o processo corrosivo, aumentando o risco de contaminação. Esse cenário evidencia a necessidade de um monitoramento rigoroso das condições de higiene e integridade das estruturas, pois a corrosão não apenas compromete a qualidade dos alimentos, mas também representa um risco à saúde dos consumidores.

Para prevenir esses efeitos adversos, é essencial implementar métodos de prevenção e monitoramento da corrosão, particularmente em ambientes com temperaturas controladas. Entre as práticas recomendadas, a seleção adequada de materiais com maior resistência à corrosão é fundamental. O uso de ligas de aço inoxidável, que apresentam melhores propriedades em relação a resistência à corrosão, pode minimizar a degradação das estruturas metálicas (Kobilacz; Pariona, 2021). Além disso, a aplicação de revestimentos protetores pode atuar como barreira, impedindo o contato entre o metal e agentes corrosivos, assim como a manutenção regular das estruturas é crucial para a identificação e correção de falhas antes que se tornem graves.

Outras estratégias incluem a adoção de processos de soldagem mais avançados, que garantam uma melhor integridade estrutural das juntas, uma vez que essas áreas são particularmente vulneráveis à corrosão. A implementação de sistemas de monitoramento contínuo também é uma abordagem eficaz, permitindo que os operadores detectem e respondam rapidamente a qualquer sinal de corrosão (Luz, 2018). Tais medidas não apenas contribuem para a durabilidade dos equipamentos, mas também são vitais para garantir que os padrões de segurança alimentar sejam mantidos, evitando riscos à saúde pública.

A interação entre a corrosão e os métodos de prevenção deve ser constantemente estudada e aprimorada, levando em conta as especificidades de cada ambiente industrial. Por exemplo, a corrosão em frigoríficos pode ser distinta daquela observada em outras instalações, devido às condições de temperatura e umidade específicas. Portanto, é imperativo que as indústrias de alimentos desenvolvam protocolos adaptados às suas necessidades, incorporando tecnologias de ponta que possibilitem o monitoramento em tempo real das condições de suas

instalações. A aplicação de técnicas modernas de soldagem e o uso de ligas metálicas com propriedades superiores se mostram como investimentos essenciais na luta contra a corrosão, contribuindo não apenas para a longevidade dos equipamentos, mas também para a segurança alimentar (Kobilacz; Pariona, 2021).

Comparação entre métodos tradicionais de soldagem e novas técnicas para reduzir a corrosão em equipamentos industriais

A soldagem é um dos processos mais críticos na fabricação e manutenção de equipamentos industriais, especialmente aqueles expostos a ambientes corrosivos, como os encontrados na indústria de alimentos. Métodos tradicionais de soldagem, como a soldagem a arco elétrico e a soldagem por resistência, têm sido amplamente utilizados devido à sua simplicidade e eficácia. No entanto, esses métodos muitas vezes não consideram as necessidades específicas de resistência à corrosão, resultando em falhas prematuras e comprometendo a segurança alimentar. Assim, novas técnicas de soldagem têm sido desenvolvidas com foco na melhoria da resistência à corrosão, especialmente em ambientes de baixa temperatura.

A soldagem a arco elétrico, um dos métodos tradicionais, é caracterizada por sua versatilidade e capacidade de unir diferentes tipos de metais. No entanto, a aplicação deste método pode resultar em zonas afetadas pelo calor, que podem comprometer a integridade do material soldado. A formação de microestruturas indesejadas nessas zonas é um fator crítico que pode levar à corrosão localizada, como a corrosão por pites, frequentemente observada em ambientes úmidos e frios (Silva, 2016). Além disso, a escolha inadequada de materiais de enchimento e a falta de controle sobre os parâmetros de soldagem podem intensificar esses problemas. Por outro lado, técnicas mais recentes, como soldagem por arco plasma (PAW) e soldagem a arco submerso (SAW), oferecem maior controle sobre a temperatura de soldagem e a formação de microestruturas, resultando em soldas com melhor resistência à corrosão e maior durabilidade (Bugarin, 2024).

O uso de aços inoxidáveis, especialmente aços inoxidáveis duplex e superferríticos, tem se mostrado eficaz na redução da corrosão em equipamentos da indústria de alimentos. Estudos demonstram que a combinação de diferentes elementos de liga, como cromo e molibdênio, nas novas ligas de aço inoxidável contribui para melhorar a resistência à corrosão em ambientes adversos (Lavor; Moura, 2018). Essas ligas podem ser soldadas utilizando métodos avançados,

como a soldagem a arco pulsado, que permite uma melhor penetração e uma menor formação de escórias, resultando em juntas mais resistentes e menos suscetíveis à corrosão.

A comparação entre métodos tradicionais e novas técnicas também se estendem à aplicação de revestimentos protetores após a soldagem. Os métodos tradicionais geralmente não consideram a aplicação de revestimentos anticorrosivos, o que pode levar a um aumento significativo na taxa de corrosão. Novas abordagens, que combinam soldagem com a aplicação de revestimentos, têm demonstrado resultados promissores na prevenção da corrosão. Revestimentos baseados em polímeros ou cerâmicas, quando aplicados em conjunto com técnicas avançadas de soldagem, oferecem uma camada adicional de proteção contra agentes corrosivos, aumentando a vida útil dos equipamentos (Yao; Zhang; Xin, 2024).

Além disso, a automação e o controle preciso dos parâmetros de soldagem nas novas técnicas têm contribuído para uma redução significativa das falhas por corrosão. A soldagem automatizada proporciona um controle mais rigoroso da temperatura e da velocidade de soldagem, minimizando a formação de microestruturas que favorecem a corrosão. Essa abordagem não só melhora a resistência à corrosão das juntas soldadas, mas também garante a qualidade e a segurança dos produtos alimentícios processados em equipamentos construídos com esses materiais (Bugarin, 2024).

A evolução das técnicas de soldagem é essencial para enfrentar os desafios da corrosão em ambientes de baixa temperatura, especialmente na indústria de alimentos. A combinação de materiais avançados, métodos de soldagem inovadores e aplicação de revestimentos protetores proporciona uma estratégia eficaz para mitigar os impactos da corrosão. A adoção dessas novas técnicas não apenas melhora a durabilidade dos equipamentos, mas também assegura a segurança alimentar, um aspecto fundamental na operação de frigoríficos e outras instalações da indústria de alimentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A corrosão em ambientes de baixa temperatura, especialmente na indústria de abate bovino, é um problema que afeta diretamente a eficiência dos processos industriais e a segurança dos produtos. O estudo dos casos apresentados demonstrou que, apesar das soluções tecnológicas avançadas disponíveis no mercado, o fenômeno corrosivo ainda representa um desafio significativo para os fabricantes de equipamentos e gestores de manutenção. As características ambientais dos frigoríficos e indústrias alimentícias em geral, onde a umidade e

o uso de agentes de limpeza agressivos são frequentes, criam condições propícias para a corrosão, afetando diversos materiais, principalmente os metais utilizados nos equipamentos.

A análise realizada mostrou que a escolha dos materiais é um dos fatores mais críticos para minimizar os efeitos da corrosão em baixas temperaturas. Materiais como o aço inoxidável, especialmente as ligas com alto teor de cromo e molibdênio, têm demonstrado eficácia superior devido à sua elevada resistência intrínseca à corrosão, embora possam apresentar limitações específicas em ambientes com alta concentração de cloretos. Contudo, mesmo esses materiais apresentam limitações quando submetidos a condições específicas de operação. A presença de cloretos, por exemplo, pode acelerar a corrosão, mesmo em ligas consideradas resistentes, evidenciando a necessidade de uma abordagem mais cautelosa na seleção dos materiais e no tratamento de superfícies. Além disso, as ligas metálicas devem ser selecionadas não apenas com base em sua resistência à corrosão, mas também considerando outros fatores, como resistência mecânica e adequação ao processo de fabricação.

Outro ponto importante observado é o papel da manutenção e do monitoramento contínuo nos processos industriais. A implementação de técnicas de prevenção da corrosão, como revestimentos protetores e a escolha de métodos de soldagem adequados, pode prolongar significativamente a vida útil dos equipamentos. No entanto, a falha em manter um monitoramento constante da integridade dos materiais pode resultar em falhas catastróficas, com impacto direto na qualidade dos produtos alimentícios e nos custos operacionais das indústrias devido a necessidade de substituição de equipamentos precocemente. A corrosão, quando não adequadamente controlada, pode levar à contaminação dos alimentos, comprometendo a segurança alimentar, além de causar paradas inesperadas de produção, o que acarreta prejuízos econômicos substanciais.

O estudo de casos práticos reforçou a necessidade de uma inspeção de rota regular para monitoramento e o combate à corrosão em ambientes de baixa temperatura. Além da equipe de manutenção utilizar de uma seleção criteriosa de materiais, usar técnicas avançadas de fabricação e soldagem, e monitoramento contínuo e uma política de manutenção preventiva rigorosa.

O uso de fotografias de equipamentos oxidados no frigorífico de abate bovino ilustrou claramente os danos que podem ocorrer quando esses fatores não são devidamente considerados. Os resultados mostraram que, embora existam métodos eficazes de prevenção, a corrosão em baixas temperaturas exige atenção constante e uma rota de inspeção regular para garantir a durabilidade dos equipamentos.

A adoção de novas técnicas de soldagem como TIG (*Tungsten Inert Gas*) com purga de gás inerte (SAW) e a substituição dos métodos tradicionais podem também desempenhar um papel crucial na mitigação da corrosão. O uso de gases inertes, como o argônio ou o hélio, cria um ambiente livre de contaminantes, evitando a formação de óxidos ou outras impurezas na área de soldagem. Isso resulta em uma fusão mais limpa e homogênea, melhorando a resistência mecânica e a durabilidade da junta soldada. A proteção gasosa também reduz a possibilidade de porosidade e rachaduras, que podem ser pontos de vulnerabilidade à corrosão, especialmente em materiais sujeitos a ambientes agressivos. Além disso, essa técnica minimiza a oxidação da peça e preserva a integridade das propriedades do material base, proporcionando uma resistência superior à corrosão, especialmente em aços inoxidáveis e ligas especiais. Processos mais modernos permitem não apenas maior precisão no controle da integridade das juntas soldadas, mas também a aplicação de materiais com maior resistência à corrosão, contribuindo para uma performance superior em ambientes refrigerados. Isso é especialmente relevante na indústria de alimentos, onde a qualidade dos produtos e a segurança dos consumidores estão diretamente ligadas à confiabilidade dos processos e dos equipamentos. Assim, a inovação tecnológica aplicada à prevenção da corrosão deve ser considerada uma prioridade estratégica para as empresas do setor alimentício.

Portanto, a compreensão dos mecanismos de corrosão, associada ao desenvolvimento e à aplicação de novas tecnologias, é fundamental para que a indústria de alimentos possa superar os desafios impostos por ambientes de baixa temperatura. O aprimoramento contínuo das práticas de fabricação e manutenção, juntamente com a pesquisa e o desenvolvimento de novos materiais e técnicas, permitirá uma operação mais eficiente, segura e econômica.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resoluções e normas**. RDC 498/2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br>. Acesso em: 16 fev. 2025.

BRCGS. *Global Standard for Food Safety* – Issue 9. **Guildford**: BRCGS, 2022. ISBN 978-1-78490-447-0. Disponível em: <https://www.brcgs.com/product/global-standard-food-safety-issue-9/p-13279/>. Acesso em: 3 mar. 2025.

BUGARIN, Aline de Fátima Santos. **Influência dos parâmetros de soldagem GTAW-DF do aço lean duplex 2101 na microestrutura e resistência à corrosão**. 2024. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

CAETANO, G. Q. **Soldagem similar de aços inoxidáveis ferríticos e austeníticos pelo processo “friction stir welding”**. 2016. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

DE SOUZA, Vitor Pagani. **Interação em erosão e corrosão de aços inoxidáveis, ao carbono e de alta resistência em ambientes livre e contendo cloretos para aplicação no agronegócio**. 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

JÚNIOR, Onidio Teixeira Pinto. **Corrosão da carcaça metálica de regeneradores tipo Cowpers**. 2023.

KOBILACZ, Luiz Gustavo; PARIONA, Moisés Meza. **Simulação numérica por elementos finitos da solidificação de aços inoxidáveis**. *Revista Brasileira de Iniciação Científica (RBIC)*, IFSP Itapetininga, v. 8, e021025, p. 1-17, 2021.

LAVOR, Camila Alves de; MOURA, Lorena Braga. **Efeito da variação da temperatura na resistência à corrosão de novas ligas de aço inoxidáveis superferríticos com alto molibdênio**. 2018. Ministério da Educação. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação – PRPI, 2018.

LUZ, Ederson Gean da. **Monitoramento da corrosão no aço carbono SAE 1020, aço galvanizado, alumínio e cobre, considerando as condições climáticas serranas e litorâneas de Santa Catarina**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário Unifacvest, Lages, 2018.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2019. 337 p.

MESQUITA, Gerson Gabriel Oliveira. **Estudo de caso sobre a corrosão em uma planta de extração de ouro**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Russas, 2022.

PEREIRA, Glaucio Emanuel de Souza. **Análise de métodos de proteção contra a ação da corrosão na indústria salina**. 2019.

PÓVOA, Paulo Victor Nogueira. **Aço inoxidável como material para equipamentos da indústria de alimentos**. 2017.

RODRIGUES, Luiza Leão Fonseca Martinez. **Análise dos efeitos da deformação a frio em aços inoxidáveis austeníticos**. 2021. Projeto final (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Educação Superior, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2021.

SILVA, G. B. S. **Caracterização de cupons de corrosão através de diferentes técnicas comparativas**. 2016.

SOUZA, Juliana Otaviano; SHIMODA, Mariana Mitsuko. **Análise comparativa da corrosão entre elementos de fixação em aço inoxidável e aço carbono fosfatizado**. 2021. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras Dom Bosco, Associação Educacional Dom Bosco, Resende, 2021.

VASQUES, Roberta Bastos. **Avaliação da resistência à corrosão do aço carbono com revestimento nanocerâmico à base de zircônio**. 2016.

YAO, Lina; ZHANG, Maocai; XIN, Bo. **Formation of an anti-corrosive chemical conversion coating on aluminium substrate under low temperature**. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2024.