



CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO – UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO BACHARELADO EM
ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ SEVERINO RODRIGUES DE MEDINA
JOSÉ THIAGO DA SILVA
MARCILIO FERREIRA DE BARROS

**MITIGAÇÃO DA CORROSÃO EM PERFIS DE AÇO
NAS CONSTRUÇÕES METÁLICAS**

RECIFE/2023

JOSÉ SEVERINO RODRIGUES DE MEDINA
JOSÉ THIAGO DA SILVA
MARCILIO FERREIRA DE BARROS

MITIGAÇÃO DA CORROSÃO EM PERFIS DE AÇO NAS CONSTRUÇÕES METÁLICAS.

Projeto apresentado ao Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA, como requisito parcial para obtenção do título de bacharelado em engenharia civil.

Professor Orientador: Prof. Dr. Janilson Alves Ferreira

RECIFE/2023

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 2338/ O.

M491m Medina, José Severino Rodrigues de.
Mitigação da corrosão em perfis de aço nas construções metálicas /
José Severino Rodrigues de Medina; José Thiago da Silva; Marcilio Ferreira
de Barros. - Recife: O Autor, 2023.
27 p.

Orientador(a): Dr. Janilson Alves Ferreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário
Brasileiro - UNIBRA. Bacharelado em Engenharia Civil, 2023.

Inclui Referências.

1. Estrutura metálica. 2. Corrosão no aço. 3. Estudo de mitigação da
corrosão. I. Silva, José Thiago da. II. Barros, Marcilio Ferreira de. III.
Centro Universitário Brasileiro. - UNIBRA. IV. Título.

CDU: 624

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que nossos objetivos fossem alcançados, durante todos esses anos de estudos.

A nossa família, que nos incentivou nos momentos difíceis e compreendeu a nossa ausência enquanto nós nos dedicávamos à realização deste trabalho.

Aos nossos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o nosso aprendizado.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o nosso processo de aprendizado.

RESUMO

Uma estrutura metálica é uma estrutura composta por perfis metálicos, principalmente de aço, que são unidos por meio de solda, parafusos ou outros tipos de conexões para formar um conjunto que dá sustentação à construção. Os perfis metálicos possuem diferentes formatos e podem ser fabricados com tipos de aço distintos como o galvanizado, galvalume ou carbono. O referido trabalho tem como objetivo principal, expor através de uma revisão bibliográfica sobre a mitigação da corrosão nos perfis de aço nas construções metálicas e como objetivos secundários apresentar as vantagens e desvantagens da utilização de estruturas metálicas, considerando que o uso deste material possibilita soluções de tipos eficientes e de alta qualidade, dando importância a seus compostos. Os mesmos possuem desvantagens e aberturas para possíveis patologias, sendo um dos principais fatores dos danos corrosivos, podendo ocorrer por causas distintas, em compensação, existe a prevenção à corrosão e seus métodos preventivos; de acordo com a norma brasileira, possuindo seus tratamentos de combate à corrosão, seus graus de intemperismo e de preparação sendo tanto tratamento com ferramentas mecânicas, como manuais e a necessidade de inspeção conforme as exigências da mesma.

Palavras-chave: Estrutura metálica. Corrosão no aço. Estudo de mitigação da corrosão.

ABSTRACT

A metallic structure is a structure composed of metallic profiles, mainly steel, which are joined together using welding, screws or other types of connections to form a set that supports the construction. Metal profiles have different shapes and can be manufactured with different types of steel such as galvanized, galvalume or carbon. The main objective of this work is to present, through a bibliographical review, the mitigation of corrosion in steel profiles in metallic constructions and, as secondary objectives, to present the advantages and disadvantages of using metallic structures, considering that the use of this material enables solutions for efficient and high-quality types, giving importance to their compounds. They have disadvantages and openings for possible pathologies, being one of the main factors of corrosive damage, which can occur for different causes. On the other hand, there is corrosion prevention and its preventive methods; in accordance with Brazilian standards, with its treatments to combat corrosion, its degrees of weathering and preparation being both treatment with mechanical and manual tools and the need for inspection according to its requirements.

Keywords: Metal structure. Corrosion in steel. corrosion mitigation study.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1. Objetivos Gerais.....	9
1.2. Objetivos específico.....	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Estruturas metálicas.....	10
2.1.1. <i>Estruturas de aço carbono</i>	11
2.1.2. <i>Estruturas de ligas metálicas</i>	14
2.2 Corrosão em aço.....	17
2.2.1. <i>Oxidação de elementos estruturais metálicos</i>	18
2.3. Técnicas anticorrosivas de estruturas metálicas.....	23
2.3.1 <i>Método galvanizado</i>	23
2.3.2 <i>Proteção Anódica</i>	24
2.3.3 <i>Pintura Industrial</i>	25
2.4. Manutenção estrutural dos elementos metálicos.....	25
3. DELINEAMENTO METODOLÓGICO	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

A inserção de estruturas metálicas na engenharia civil tem sido fundamental para a evolução da construção moderna. “O uso do aço proporciona não apenas soluções estruturais eficientes, mas também abre portas para concepção de projetos arquitetônicos inovadores, conferindo leveza e versatilidade às edificações” (FABRÍCIO, 2015).

Estrutura metálica é uma das principais classes de sustentação utilizada na construção civil, constituídos por diferentes componentes compostos por perfis metálicos constando o aço como principal liga metálica. Podendo ser aplicada em variáveis projetos, como casas, shoppings, pavilhões, centros de distribuição, entre outros. A principal vantagem é a velocidade na execução, em virtude de que as peças são produzidas em fábrica e posteriormente transportadas ao canteiro de obra para serem preparadas para montagem. Além disto, é mais leve que o concreto armado, o que diminui as cargas sobre as fundações, assim dando a permissão de maiores vãos e com menos entulhos e gerando menos perdas, precisando de um planejamento detalhado e uma contratação de fornecedores confiáveis para a adesão em projeto. A expertise de Fabrício (2015) destaca não apenas a resistência do material, mas também sua capacidade de permitir a concretização de ideias arrojadas, ressaltando a importância das estruturas metálicas no cenário da engenharia brasileira contemporânea.

Entretanto, a estrutura metálica possui algumas desvantagens, tendo como o maior, o custo do material, dificuldade de adaptação, problemas quanto à ampliação da obra, pouca mão de obra qualificadas e a necessidade de proteção contra incêndio e corrosão, considerando métodos como: revestimento da superfície metálica com tintas, películas, pó eletrostático, metais de sacrifício, tratamento térmico para melhorar as propriedades do metal; controle do ambiente ao reduzir a umidade, a poluição, a temperatura e a salinidade; Proteção catódica que consiste em aplicar uma corrente elétrica externa, para impedir a formação de pilhas de corrosão.

A corrosão do aço é uma das principais formas de danos às estruturas de concreto armado e pode ser causada por ações ambientais, como os íons cloreto presentes em ambientes marinhos” (BERTOLINI, 2010).

Segundo o Grupo Dimensão, estudos realizados constataram que os Estados Unidos da América têm de prejuízo cerca de 80 bilhões de dólares por ano causados pela corrosão. De certo modo, a corrosão pode comprometer a resistência, a estética e a durabilidade das estruturas metálicas, gerando prejuízos econômicos e ambientais, afetando a segurança daqueles que utilizam ou trabalham nas mesmas, causando acidentes graves ou fatais. Podendo ser classificada em diferentes tipos, como: uniforme, por erosão, por pontos, galvânica, por tensão, por lixiviação, frestas e ranhuras.

Constituindo-se de tipos e características específicas, que precisam de medidas de prevenção e controle adequados, sendo influenciada por diversos fatores, tendo eles o tipo do metal, a umidade, a temperatura, a presença de tensões mecânicas, a geometria da peça, o meio corrosivo, contato com outros metais; como fatores que preocupam de modo geral a identificação e a fiscalização da corrosão ao serem executados por meios de ensaios não destrutivos de identificação, sendo eles: uma ultrassom, a radiografia, inspeção visão, entre outros; esses ensaios possibilitam avaliar o estado e a tomada de decisão necessária.

Segundo Brasil Escola, a maresia é o principal fenômeno natural de regiões litorâneas que proporciona maior degradação em objetos metálicos, devido a grande quantidade de íons presente nos sais marinhos. O processo consiste na evaporação parcial da água do mar, no qual os íons são enviados à atmosfera e transportados com a força do vento. Após entrar em contato com o aço, inicia o processo eletroquímico chamado de oxirredução, com a alta umidade do ar o processo de oxirredução acelera desgastando com mais facilidade. A mitigação da corrosão é o conjunto de medidas que visa prevenir ou reduzir os efeitos de deterioração nas estruturas metálicas, pois como a corrosão é o desgaste sofrido por uma peça metálica através de um processo eletroquímico, químico ou eletrolítico, ocasiona perda de resistência, falhas estruturais, aumento de custos e riscos ambientais. Medidas assertivas são adotadas pelo controle e a prevenção da corrosão por variados meios combatentes, tendo a proteção superficial (galvanização, pintura e etc.), a escolha de materiais adequados, tratamentos térmicos, inibidores de corrosão

e proteção catódica como principais meios. Em vista a importância de prevenção e combate perante os casos, o estudo e a prática destes métodos necessitam ser efetuados com as boas práticas de engenharia e de acordo com as normas técnicas.

1.1 Objetivo geral

Analisar as estruturas metálicas referente ao procedimento de proteção utilizados nas estruturas para evitar a corrosão.

1.2 Objetivos específicos

- Analisar os custos;
- Analisar a durabilidade;
- Analisar a manutenção.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estruturas metálicas

Estrutura metálica é um modelo de sustentação utilizada na construção civil constituídas por perfis metálicos, principalmente aço, sendo capaz de ser aplicada em variados tipos de projetos sendo formadas fundamentalmente por ferro e carbono, porém sua resistência vem a ser dependente do carbono recorrido, contudo as estruturas metálicas, possui um indicativo de funcionalidade em escala industrial a partir de 1750, deste modo no Brasil o início de sua fabricação foi no ano de 1812, visto que o grande avanço na fabricação de perfis em larga escala ocorreu com a implantação das grandes siderúrgicas. (PINHEIRO, 2005.)



Figura 1 – Perfis de estrutura metálica, shopping Tacaruna
Fonte: Autoral, 2018.

Contudo houveram mudanças, a privatização do setor siderúrgico brasileiro, a partir da década de 1990, ocasionou uma modernização do setor, um forte crescimento e a diversificação da produção. O Brasil possui atualmente uma significativa indústria de insumos de aço para a construção civil. Mas somente em 2008, o setor da construção civil tornou-se o maior consumidor de produtos siderúrgicos, com 30% de participação do consumo total (PALATNIK, 2011).

Entretanto, devido ao lento desenvolvimento do uso do aço na indústria da construção civil ocorrido no Brasil nos últimos cinquenta anos, as construções em aço não alcançam 5% do total, segundo o CBCA, mas há um grande potencial de crescimento face às necessidades de ampliação da infraestrutura brasileira e de redução do déficit habitacional (PALATNIK, 2011), Sendo assim o grande marco para início da modernização do setor para a indústria brasileira, com a implementação de maior matéria, mesmo não conseguindo abranger seu uso na construção civil, porém o grande potencial faz jus ao crescimento e uso da mesma, assim sendo cada vez mais utilizada, dada em conta suas vantagens.

2.1.1. Estruturas de aço carbono

A liga metálica do aço carbono contém 0,008% a 2,12% de concentração de carbono. Essa liga se utiliza em várias áreas da indústria como a construção civil, junto a ela e utilizado também na área automotiva e na fabricação de navios e muito mais.

A estrutura de aço carbono tem em sua base onde os átomos se organizam em padrão em arranjos cristalinos

Figura 2 – Tubos de aço

Fonte: LUXFER

O aço carbono tem suas três fazes: baixo carbono, médio carbono e alto carbono, onde o baixo carbono é composto por 0,30% de um carbono altamente usinável e pode ser facilmente maleável a solda e suas principais aplicações são em pontes, edifícios, tubos e estruturas mecânicas. Médio carbono tem uma quantidade de carbono entre 0,30% a 0,60% na composição e com isso ele é mais resistente a tratamentos térmicos do que o aço de baixo carbono e suas principais aplicações são em estruturas de navios, vagões, estruturas mecânicas e equipamentos agrícolas. O alto carbono possui 0,60% até 1% de carbono na composição e com isso o mais resistente ao desgaste e tem como principais aplicações peças mecânicas, trilhos e rodas ferroviárias e equipamentos agrícolas. O processo de fabricação do aço carbono envolve em quatro etapas:

Preparação de carga:

Na primeira etapa do processo de fabricação é utilizado o carvão mineral pois ele é a parte principal da fonte de carbono para o processo de fabricação do aço e destilado na coqueria, assim se transformando em coque. em conjunto o ferro é combinado com a cal, essa parte do processo das matérias primas melhora o rendimento e a economia do processo.

Redução ou sinterização:

Com o ferro e o carvão já preparados, nessa fase são colocados ao forno, para fundirem-se. No processo o oxigênio é aquecido em 1000°C e é produzido uma corrente de vento levando um calor mais excessivo ao carvão. Esse calor funde o metal e reduz o minério de ferro a um metal líquido chamado de ferro-gusa.

Assim o ferro-gusa se torna um metal com muito teor de carbono com (5%) levando a ser muito quebradiço e sem aplicações práticas direta

Refino:

Na terceira etapa, o refino é um dos principais processos para a remoção do carbono e das impurezas do ferro-gusa na transformação de aço líquido.

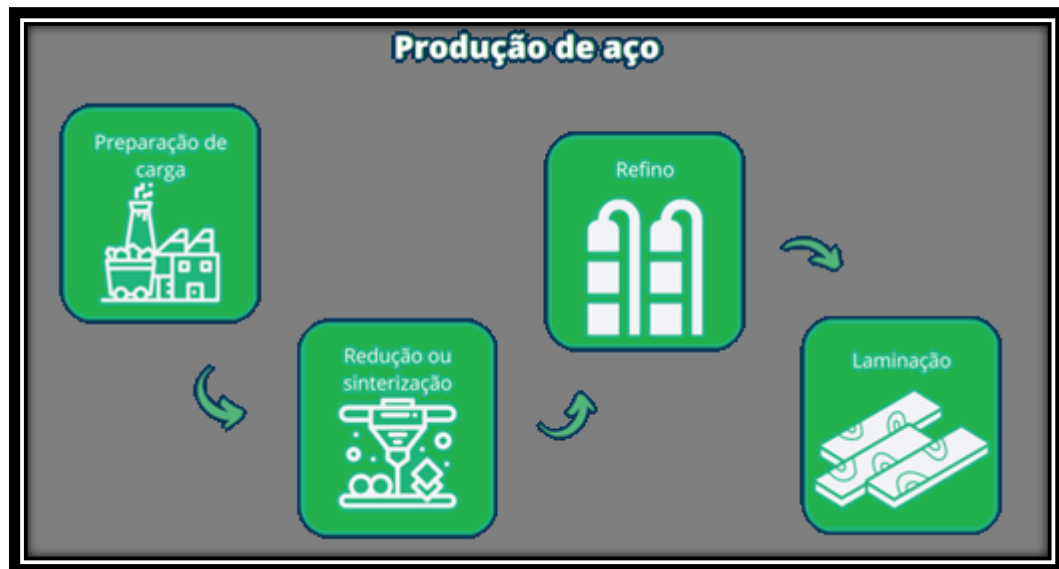
Isto acontece dentro das siderúrgicas que se chama aciaria, funcionando com dois tipos principais: um pelo oxigênio onde se produz o aço primário sendo da matéria prima pura ou o elétrico sendo feito o processo que faz o aço a partir da sucata do ferro.

Com tudo, o aço líquido é solidificado em maquinário que se chama lingotamento contínuo, com isso ele fica semiacabados, assim sendo peças que já podem ser comercializadas ou para construção civil ou para produção de outras peças.

Laminação:

No fim, a etapa de laminação do aço, onde são fabricados, cortados e transformados em placas de aço, facilitando o manuseio para fabricação de outras peças, tais como perfis laminados utilizados em várias obras.

Figura 3 – Fluxograma autoral



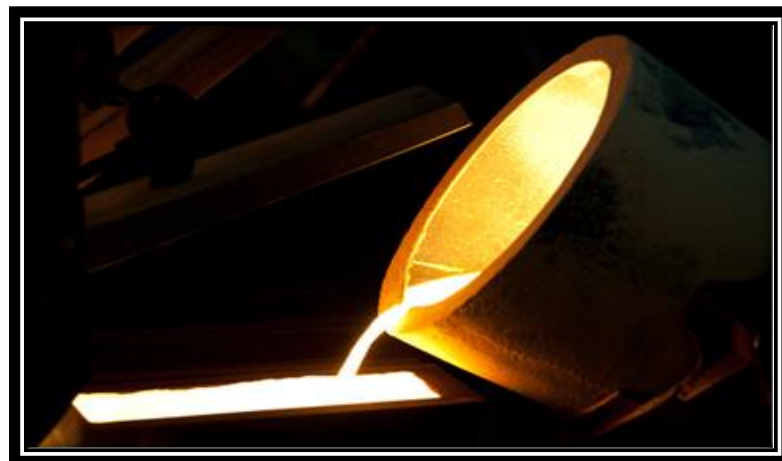
Fonte: Autoral, 2023.

2.1.2. Estruturas de ligas metálicas

Na fabricação dos materiais mais puros não apresenta as características para serem aplicados nos produtos utilizados na sociedade.

Com isso surgiu as ligas metálicas, que contém a mistura de dois ou mais metais ou outras substâncias por meio de aquecimento, os componentes se fundem em uma alta temperatura e depois que esfriam se solidificam.

Figura 4 – Produção de liga metálica a altas temperaturas.



Fonte: Mundo da educação

Serão determinadas cada aplicação específica de propriedades resultantes por cada metal que serão usados pela quantidade de cada metal na liga e pela estrutura do arranjo cristalino das ligas, pela arrumação dos cristais, tamanho e também os tratamentos adicionais que podem se realizar.

As ligas mais comuns são:

Aço:

É formado através das misturas de 98,5% aproximadamente de ferro, 0,5% a 1,7% de carbono e traços de silício, oxigênio e enxofre. Essas medidas são utilizadas em peças metálicas que sofrem elevadas tração, assim ficando mais resistente a tração do que o ferro puro, o aço é utilizado também para produção de outras ligas metálicas.

Figura 5 – Ligas metálicas

**Aço Inox:**

Produzido pela mistura de 74% de aço, 18% de cromo e 8% de níquel. Por ter sua formação inoxidável é utilizado na maioria das vezes em talheres, peças de carro, corrimão, guarda corpo e utensílios de cozinha.

Figura 6 – Corrimão de aço inox



Fonte: MONITOX

Figura 7 – Liga de cobre e zinco “Latão”



Fonte: Clube da Química

Solda:

A solda é formada por 67% de chumbo e 33% de estanho, ela é usada em solda de contatos elétricos porque possui baixo ponto de fusão;

Figura 8 – Atividade de solda



Fonte: Grupo Costa Engenharia

Magnálio:

O magnálio é uma mistura de 90% de alumínio e 10% de magnésio. Por sua característica ser de alta leveza, ele é utilizado nos aviões e em peças de automóveis.

Figura 9 – Fabricação Automotiva

Fonte: Industrial Motor Service

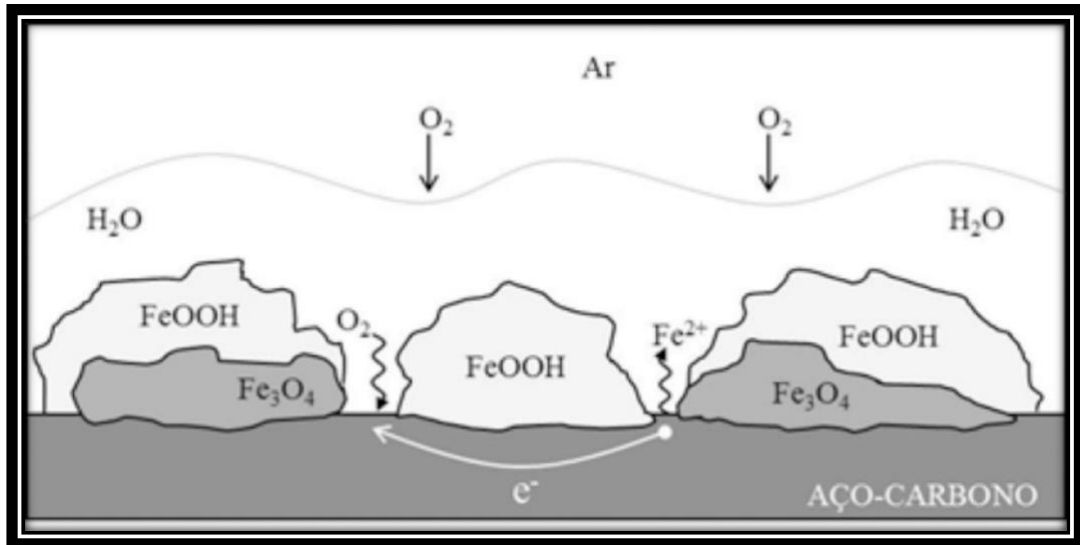
2.2 Corrosão em aço

A corrosão do aço-carbono é um fenômeno comum e desagradável que ocorre quando o ferro e muitas ligas ferrosas, como os aços-carbono, são expostos à atmosfera ou submersos em águas naturais (SILVA, 2015). A corrosão pode ser definida basicamente como a deterioração de um metal ou liga, a partir de sua superfície, pelo meio no qual está inserido. O processo envolve reações de oxidação e de redução (redox) que convertem o metal ou componente metálico em óxido, hidróxido ou sal (SILVA, 2015).

De acordo com Silva, os aços-carbono comuns contêm mais de 97% de Fe, até 2% de C e outros elementos remanescentes do processo de fabricação. A oxidação do Fe (s) ocorre porque este elemento é termodinamicamente instável na presença de O₂ (g) ($\Delta G_f^0 \text{ FeO}_{(s)} = -251,5 \text{ kJ/mol}$, $\Delta G_f^0 \text{ Fe}_3\text{O}_{4(s)} = -1014 \text{ kJ/mol}$ e $\Delta G_f^0 \text{ Fe}_2\text{O}_{3(s)} = -741,9 \text{ kJ/mol}$). Na atmosfera, a ação conjunta do O₂ (g) e H₂O (g) torna o meio mais agressivo que reage com os aços-carbono formando uma camada porosa de produtos de corrosão conhecida como ferrugem (SILVA, 2015).

Esta é constituída principalmente por uma mistura de diferentes fases de FeOOH (amorfa, goetita, lepidocrocita, etc.), porém sua composição pode mudar de acordo com as condições climáticas e o teor de poluentes (SO₂, NO₂, etc.) (SILVA, 2015).

Figura 10 - Representação esquemática do processo de corrosão atmosférica do aço-carbono



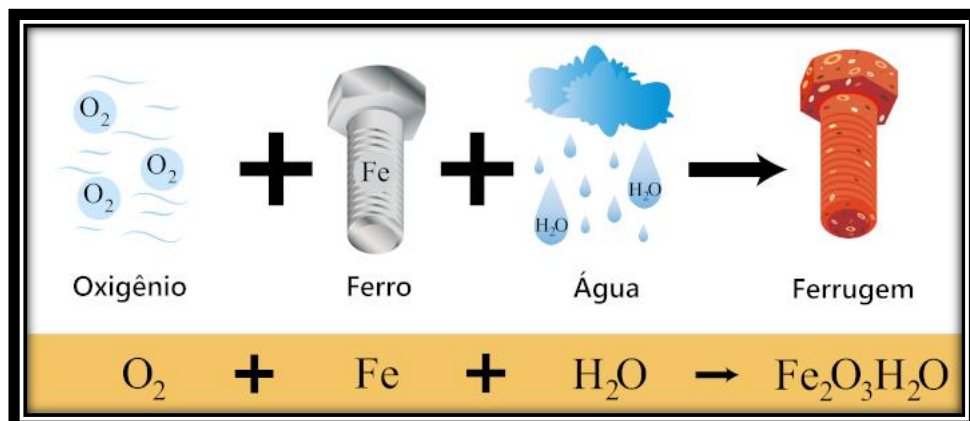
Fonte: (Silva, 2015)

Existem também estudos sobre o mecanismo de corrosão pelo CO₂ em aço carbono usando técnicas eletroquímicas em condições que incluem alta pressão e temperatura.

2.2.1. Oxidação de elementos estruturais metálicos

A oxidação de elementos estruturais metálicos é um processo químico que ocorre quando o metal entra em contato com o oxigênio do ar e a água, resultando em corrosão. Este fenômeno é particularmente relevante para o ferro, que facilmente sofre oxidação, formando ferrugem (BATISTA, 2011).

Figura 11: Processo químico de formação da ferrugem



Fonte: Mundo Educação

Em termos de estruturas metálicas, a oxidação pode levar a patologias que afetam a integridade e a durabilidade da estrutura. As patologias mais comuns e de

maior ocorrência nas estruturas de aço são aquelas ligadas à corrosão, seja localizada ou generalizada, deformações e flechas excessivas, flambagem local ou global e fraturas e propagação de fraturas (LEAL JÚNIOR, 2023).

Estas patologias podem ser explicadas através de uma revisão bibliográfica, permitindo a proposição de metodologias corretivas e preventivas (LEAL JÚNIOR, 2023). A pesquisa abrange aspectos desde inspeções durante a fabricação até a montagem das estruturas metálicas. De acordo com Jerry, na execução e fabricação de peças de estruturas metálicas os tipos de corrosões afetam no tipo de manutenção que deve atuar nesse local, seja localizada, quando atua em um ponto específico e muitas vezes advindo de deficiência de drenagem de águas pluviais e exposição a agentes agressivos ou deficiências de detalhes construtivos ou generalizadas, quando ocorre a ausência de mecanismo de proteção contra tal corrosão. (Junior, 2023).

Figura 12: Estrutura em processo de corrosão

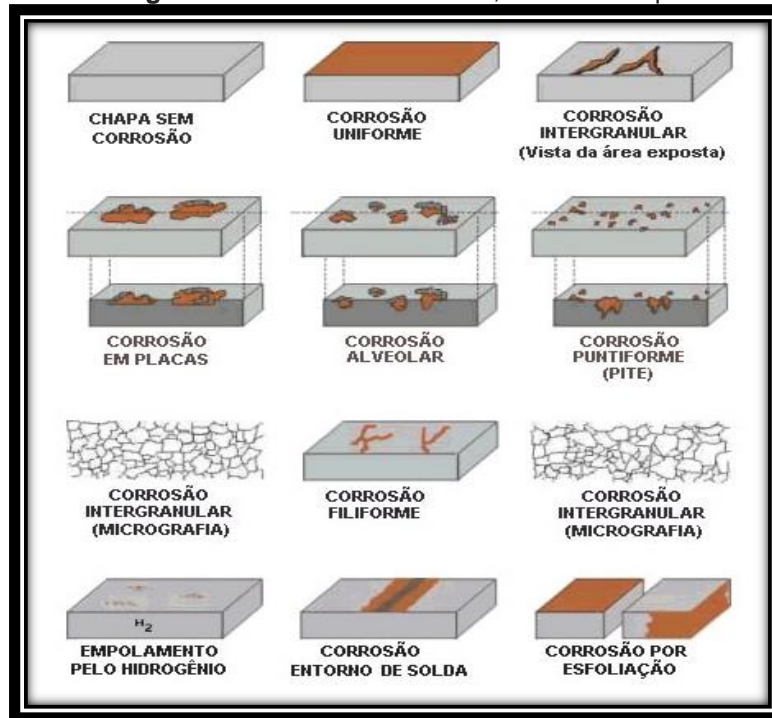


Fonte: Lemarg Projetos e Serviços

Além disso, é importante considerar que o ambiente envolvente de uma estrutura influencia significativamente a taxa de corrosão dos materiais metálicos e a deterioração do revestimento de proteção. De acordo com Junior, de maneira técnica as principais corrosões citadas por Neto e Cunha (2020) no estudo das patologias advindas de corrosões são do tipo uniforme (Figura 9), alveolar (Figura 9), puntiforme

ou pitting ou por pites (Figura 9), por esfoliação, galvânica, entre outras. Em comum entre esses, tem-se a atuação em locais, principalmente, de ligação com a estrutura, seja em locais de ligação entre peças metálicas, sejam solda ou parafusada, locais de ligação entre concreto e estrutura metálica e ligações entre fundação e a estrutura. (LEAL JÚNIOR, 2011).

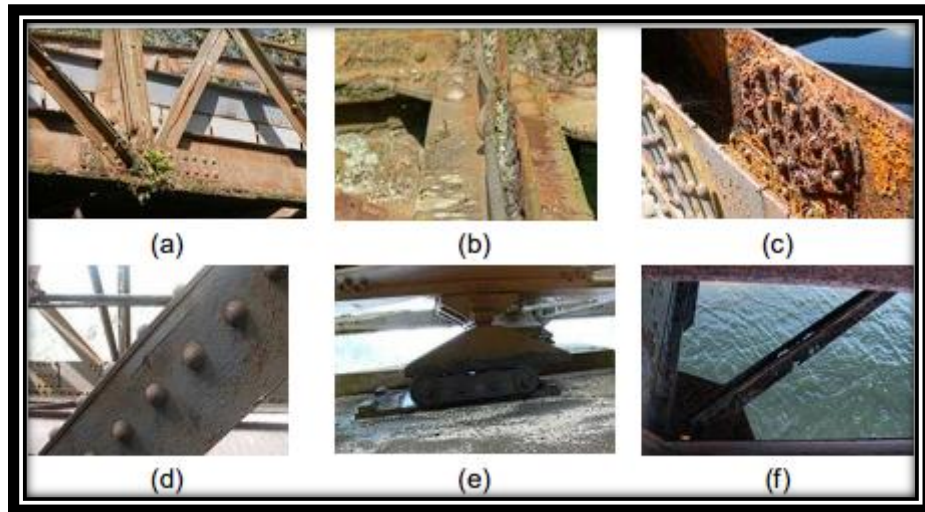
Figura 13: Formas de corrosão, desenho esquemático



Fonte: ICZ

Portanto, a descrição e classificação da corrosividade ambiental é essencial para a seleção e concepção de um método de reparação ou sistema de proteção a aplicar numa estrutura metálica. De acordo com Patricio, os principais tipos de defeitos são classificados num primeiro nível da seguinte forma: contaminação, deformação, deterioração, descontinuidade, deslocamento e perda de material, sendo assim representados na (Figura 10).

Figura 14. Principal tipo de defeitos nas estruturas de aço: (a) Contaminação; (b) Deformação; (c) Deterioração; (d) Descontinuidade; (e) Deslocamento; (f) Perda de material.



Fonte: Patricio, 2011.

O segundo nível identifica os componentes estruturais onde os defeitos tendem a ocorrer, enquanto o último nível indica o subtipo do defeito, assim como indicado no Quadro 1.

Quadro 1. Classificação dos defeitos nas estruturas de aço

Tipo	Componente	Subtipo
Contaminação	Qualquer componente	Química Biológica
Deformação	Componente básico	Deflexão Distorção Torção
	Ligação aparafusada/rebitada	Deflexão Distorção Torção
	Ligação soldada	Deflexão Distorção Torção
Deterioração	Componente básico	Uniforme Localizada
	Ligação aparafusada/rebitada	Uniforme Localizada
	Sistema de revestimento	Empolamento Enferrujamento Pulverulência Corrosão filiforme
	Ligação soldada	Uniforme Localizada

Fonte: Patricio, 2011.

Sendo assim, tendo em vista um caso recorrente nas áreas com maresia que é um problema significativo, especialmente em áreas costeiras, pois a maresia acelera o processo de corrosão de objetos metálicos devido à presença de íons na água do mar, dito isto apresentando algumas estratégias para mitigar a corrosão causada pela maresia:

- Aplicação de pinturas de alto desempenho: As pinturas de alto desempenho podem aumentar a vida útil dos materiais ao protegê-los contra a corrosão.
- Uso de inibidores de corrosão: Os inibidores de corrosão podem ser usados para retardar ou prevenir a corrosão.
- Proteção catódica: A proteção catódica que é uma técnica usada para controlar a corrosão de uma superfície metálica, tornando-a o cátodo de uma célula eletroquímica.
- Manutenção regular: Em áreas costeiras, é recomendado encerar o carro uma vez por mês para minimizar os danos causados pela maresia. Outros serviços, como polimento e cristalização, também podem ser utilizados, pois oferecem maior proteção do que o enceramento.
- Uso de concreto adequado: Utilizando concretos com resistência a ambientes marinhos e agentes corrosivos, como por exemplo o concreto de alta durabilidade ou adicionar aditivos inibidores de corrosão.
- Revestimentos protetores: Os revestimentos protetores podem ser usados para proteger as estruturas metálicas da corrosão.

Essas estratégias podem ajudar a prolongar a vida útil das estruturas metálicas em ambientes costeiros e reduzir os custos associados à manutenção e substituição de componentes corroídos, sendo assim de modo geral existem várias normas e recomendações para mitigar a corrosão em estruturas metálicas. Aqui estão algumas delas:

- Eliminação de fatores responsáveis pela corrosão: Isso pode ser feito removendo a umidade, usando trocadores iônicos para remover sais dissolvidos na água, neutralizando substâncias ácidas.
- Uso de substâncias que retardam a corrosão (inibidores).
- Alteração do potencial elétrico do metal.

- Galvanização: Aplicar camadas de zinco no aço protege contra oxidação. Este processo é conhecido como galvanização e utiliza imersão a quente ou zincagem eletrolítica.
- Revestimento Orgânico (ou mecânico): A impermeabilização mecânica funciona como uma barreira entre elementos ambientais e a estrutura de metal.
- Evitar pares bimetálicos: É preciso também evitar pares bimetálicos que podem ocasionar uma reação entre si e por conseguinte uma corrosão (do tipo corrosão galvânica).

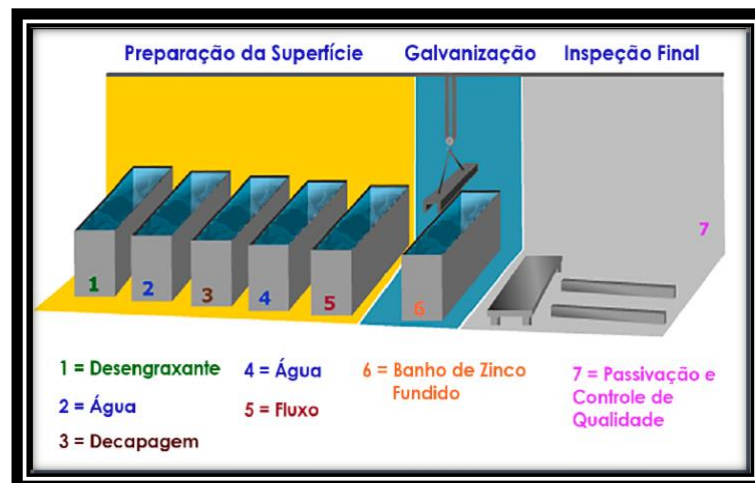
Além disso, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) de Portugal publicou um guia técnico de recomendações para a manutenção de estruturas metálicas. Este guia aborda a durabilidade das estruturas de aço, a influência do ambiente de exposição na taxa de corrosão dos materiais metálicos e a deterioração do revestimento de proteção.

2.3. Técnicas anticorrosivas das estruturas metálicas

2.3.1 - Método galvanizado.

A Galvanização é um processo que se aplica uma pequena camada protetora de zinco por uma superfície do aço ou do ferro a uma intenção de protegê-la contra a corrosão também melhorando sua aparência.

Figura 15 – Galvanização.



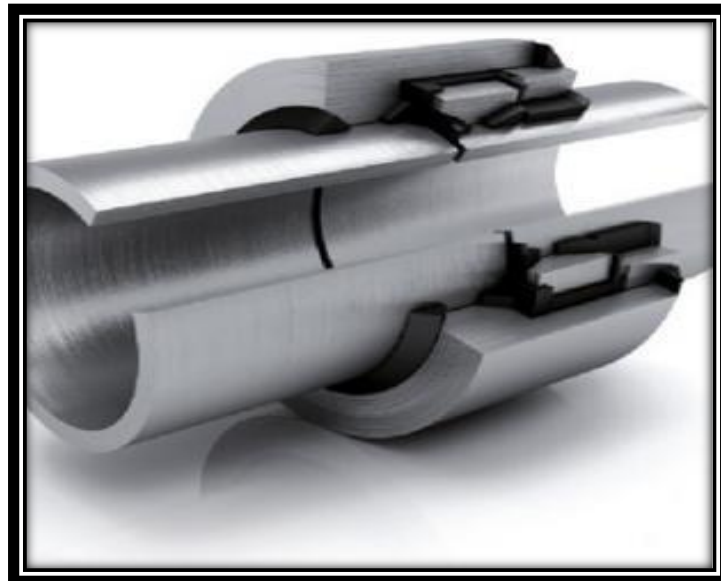
Fonte: Galvânica Bereta

Figura 16 - Galvanização

Fonte: Solução Industrial

2.3.2 Proteções Anódica.

A proteção anódica é uma técnica de proteção que envolve uma pequena aplicação de uma corrente elétrica que reduz o processo de corrosão aplicada em equipamentos expostos a ambientes corrosivos. Sendo assim usado em outras indústrias, como construção naval, construção civil e automotiva.

Figura 17 – Proteção Anódica

Fonte: Maas Engenharia & Proteção Catódica

2.3.3 Pintura industrial.

A pintura industrial vem sendo bastante utilizada porque faz uma camada sobre o aço impedindo ter o contato entre os oxigênios do ar molhado, trazendo uma grande proteção para a vida útil da peça. Para que haja eficiência no processo, é necessário que a tinta cubra completamente a peça, esta deve estar isenta de falhas.

Figura 18 – Proteção contra corrosão de metais.



Fonte: Tornado.

2.4. Manutenção estrutural dos elementos metálicos

A manutenção dos elementos metálicos deve ser feita para garantir a qualidade e a segurança da estrutura, fazendo inspeções visuais para tratar das condições da peça e trazendo os reparos necessários baseados em estudos feitos pelo profissional da empresa. Usando os equipamentos e produtos como antioxidante e esmaltes ou similares necessários para exercer tais tarefas. Sendo altamente necessários para a melhor desempenho dos mesmos garantindo uma grande qualificação técnica protegendo de quaisquer riscos.

Figura 19 - Manutenção estrutural metálica



FONTE : Steellotus

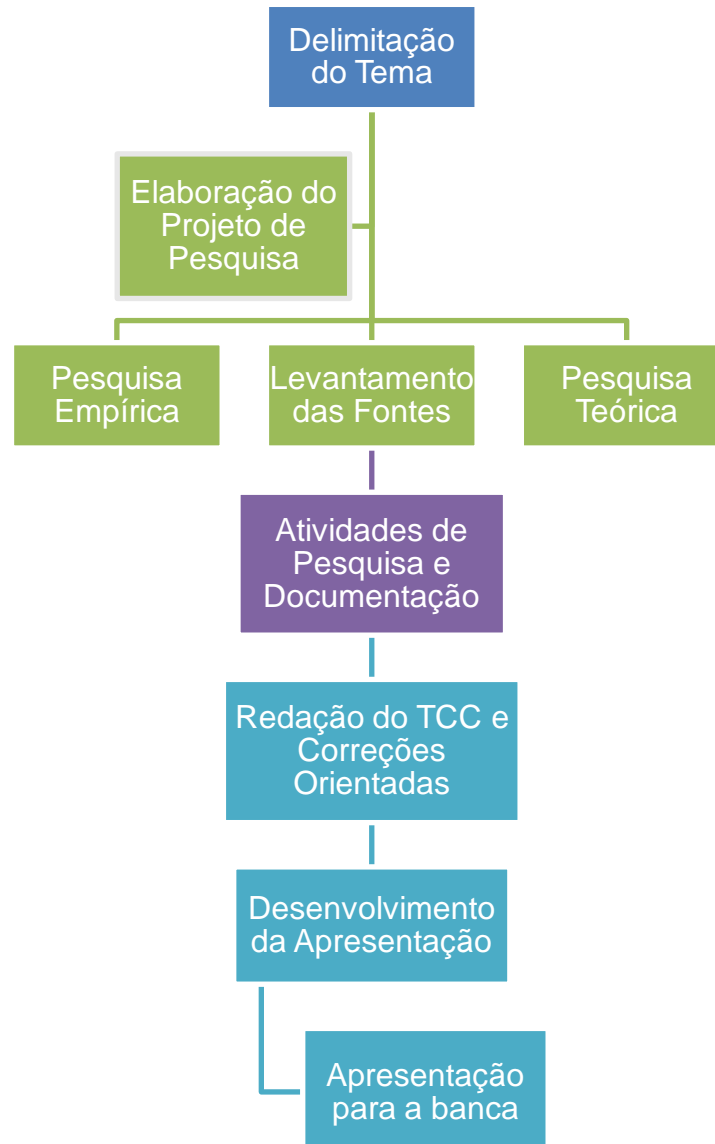
3. DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Os procedimentos de coleta dos dados de agosto a novembro de 2023, foi através de pesquisa de dados virtuais, bibliográfica e documental e BDTD (Banco de Dados de Teses e Dissertações) e no Google Acadêmico, com abordagem qualitativa, no intuito de relacionar os dados para a interpretação. Como palavras chaves foram utilizadas: Estrutura metálica, Corrosão no aço, estudo de mitigação da corrosão.

Os critérios utilizados para inclusão são: textos completos disponíveis na íntegra; textos em português e inglês; textos cujos títulos estivessem condizentes com a temática deste trabalho; que obedeciam aos objetivos do estudo; e textos publicados no espaço temporal entre 2002 e 2023. Além disso, foram utilizados sites e normativas governamentais direcionados à temática proposta.

Foram considerados inelegíveis estudos fora do prazo estipulado e/ou estudos que não prosseguissem o tema da pesquisa. A seleção dos estudos foi realizada através das seguintes etapas: exclusão de estudos duplicados que estivessem fora do período definido; exclusão de títulos que não correspondam ao tema; exclusão de

textos que não atendem aos objetivos do estudo; inclusão e leitura de textos que atendam aos critérios de elegibilidade.



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento do presente estudo abordou o fenômeno da corrosão em estruturas e peças metálicas, suas causas, consequências, formas de ocorrência, métodos de prevenção e recuperação, com foco na proteção contra a corrosão por revestimento. Este tema é super relevante para a engenharia, a indústria e a sociedade, pois a corrosão afeta a durabilidade, a segurança, a funcionalidade e a estética das estruturas e peças metálicas, gerando prejuízos econômicos, ambientais e humanos. Dito isto o estudo apresentou os principais erros de design de projetos que comprometem a qualidade do revestimento, as normas e especificações técnicas para a aplicação e a avaliação do revestimento, os tipos e as características dos revestimentos mais utilizados e os fatores que influenciam o desempenho do revestimento na proteção contra a corrosão.

Deste modo a pesquisa atingiu os objetivos propostos na introdução, que eram: identificar e analisar os erros de design de projetos que afetam o revestimento necessitando o estudo e a aplicação regrada das normas e especificações técnicas para serem efetuadas de forma correta; comparar os tipos e as características dos revestimentos avaliando o caso estudado; e avaliar o desempenho do revestimento na proteção contra a corrosão abrangendo os tipos presentes de métodos de mitigação.

O trabalho sugere como possíveis temas para futuras pesquisas: o desenvolvimento de novos materiais e técnicas para o revestimento; a avaliação do ciclo de vida e do custo-benefício do revestimento; a análise de casos reais de falhas por corrosão em estruturas e peças metálicas revestidas; e a elaboração de um manual de boas práticas para o revestimento.

- Analisar os custo.

Para analisar o custo de proteção de uma estrutura metálica contra corrosão, você pode usar a técnica de precificação por peso da estrutura. Essa técnica consiste em estabelecer o preço de venda ao cliente final baseado no peso de aço empregado na construção. Para aplicar essa técnica, você precisa saber de antemão qual o peso médio será empregado na construção e multiplicar o peso por um fator conhecido, que é o “preço por quilo de aço” já conhecido e que é baseado em sua experiência e custos

internos. Cada construtor pratica um “preço por quilo” diferente pois tem diferentes estruturas de fabricação e montagem.

O custo da galvanização a fogo pode variar dependendo do tamanho da estrutura, do tipo de metal usado na estrutura, do ambiente em que a estrutura será usada e do orçamento disponível. O preço pode ser influenciado pelo preço do zinco no mercado, bem como pela distância entre o local onde a estrutura será construída e o local onde a galvanização será realizada.

- Analisar a durabilidade.

A durabilidade da proteção é diretamente proporcional à qualidade do zinco utilizado, à espessura do revestimento e depende da agressividade do meio que o material está exposto.

Os revestimentos de zinco podem ter uma expectativa de vida de até 50 anos e suportar a exposição urbana e litorânea. As proteções oferecem diversos benefícios significativos, incluindo proteção contra corrosão, baixa manutenção e uma aparência esteticamente agradável

- Analisar a manutenção.

A manutenção de estruturas metálicas é um processo importante para garantir a segurança e durabilidade das estruturas. A manutenção pode incluir Inspeção visual de rotina, grandes inspeções a cada 3-5 anos, inspeções especiais para defeitos significativos, danos físicos acidentais, corrosão avançada ou fissuras, ou quando forem identificados detalhes que possam comprometer o comportamento à fadiga da estrutura. A manutenção também pode incluir a identificação de defeitos de pintura e danos por corrosão, medindo a grossura usando métodos diretos ou ultrassônicos. bem como identificar fissuras críticas e zonas de fadiga visualmente ou por métodos simples não destrutivos.

5. CONCLUSÃO

Na busca pela diminuição eficaz da corrosão em perfis de aço, é crucial reconhecer a dinâmica em constante evolução dos desafios apresentados pelas estruturas metálicas.

A interação com ambientes corrosivos complexos, como áreas marinhas ou industriais, exige uma abordagem proativa e adaptativa. As estratégias existentes atualmente, oferecem fundamentos, porém, as inovações tecnológicas são essenciais para combater às crescentes demandas de resistência e durabilidade.

A importância do desenvolvimento de pesquisas e tecnologias contínua para avaliar a eficácia dos sistemas adotados ao longo do tempo. Sistemas de sensoriamento avançados e técnicas de análise preditiva são elementos indispensáveis na manutenção preventiva, permitindo intervenções antes que a corrosão comprometa a integridade estrutural.

O cumprimento das abordagens normativas é de obrigatoriedade para que haja preservação do meio ambiente, redução dos custos a longo prazo e proporcionar segurança na infraestrutura. Investir em tecnologias que minimizem o impacto ambiental, somadas às práticas construtivas responsáveis, representa um passo primordial em direção às estruturas metálicas mais duráveis e ecologicamente conscientes.

No entanto, reconhecer que, mesmo com o avanço, desafios persistentes exigirão esforços contínuos de pesquisa, a colaboração entre setores acadêmicos, industriais e governamentais é importante para promover a implementação efetiva das mais recentes descobertas científicas no campo da corrosão em construções metálicas.

Concluimos que a mitigação da corrosão em estruturas metálicas requer uma combinação de estratégias e inovações tecnológicas, e sustentável, é imprescindível a colaboração entre engenheiros, ambientalistas e cientistas para propor soluções de amplo espectro que trate das problemáticas presentes e futuras.

É importante que haja um comprometimento com a pesquisa sobre as reduções dos impactos corrosivos, visando desenvolver capacidades de durabilidade e eficiência das estratégias adotadas.

Dessa forma, podemos forjar um futuro em que estruturas metálicas não apenas resistam à corrosão, mas também prosperem como exemplos duradouros de engenharia sustentável e eficiente.

REFERÊNCIAS

ALVES, Júlio César de Castro. CARVALHO, Leonardo Gomes de Sá e. Corrosão: Estudo de caso sobre ruptura do concreto. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 10, Vol. 04, pp. 16-28. Outubro de 2019. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenhariacivil/corrosao>. Acessado em: 16 nov. 2023.

BATISTA, Carolina. Oxidação: o que é, como ocorre a reação e exemplos. **Toda Matéria**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/oxidacao/> . Acesso em: 20 out. 2023.

BARDAL, Einar. **Corrosion and Protection**. 1ª ed. Londres: Springer, 2004.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de Construção: patologia, reabilitação e prevenção**. 1ª ed. Oficina de textos. 2010.

CLUBE DA QUÍMICA. **O latão definição, importância e vantagens**. Disponível em: <https://clubedaquimica.com/2021/10/26/o-latao-definicao-importancia-tipos-e-vantagens/> . Acessado em: 17 out. 2023.

CORTEZ, L. A. R. *et al.* Uso das estruturas de aço no Brasil. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 4, n. 2, p. 217-228, nov. 2017. Disponível em <>. Acesso em:

FABRÍCIO, M. M., MELHADO, S. B. **Desafios para integração do processo de projeto na construção de edifícios**. São Carlos: EESC/USP, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228636483_Desafios_para_integracao_do_processo_de_projeto_na_construcao_de_edificios Acessado em: 18 out. 2023.

FOGAÇA, J. R. V. Ligas Metálicas. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/ligas-metalicas.htm>. Acesso em: 20 out. 2023

GALVANICA BERETTA. **Como funciona o processo de galvanização a fogo**. Disponível em: <https://beretta.com.br/a-galvanizacao/>. Acessado em: 03 nov. 2023.

GONÇALVES, J. P. **MUNDO DA EDUCAÇÃO: Ferrugem**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/ferrugem.htm>. Acessado em: 21 out. 2023.

GRUPO COSTA ENGENHARIA. **Serviço de solda**. Disponível em: <https://www.grupocostaeng.com.br/servico-solda> . Acessado em: 17 out. 2023.

INDUSTRIAL MOTOR SERVICE. **Comercial Customs Industries Automotive Manufacturing**. Disponível em: <https://www.industrialmotorservice.com/services> . Acessado em: 21 out. 2023.

LEAL JÚNIOR, J. A. GUTERRES, P. R. C. **Estudo das patologias em estruturas metálicas**. Trabalho de conclusão (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/37483/1/EstudoPatologiasEstrutura.pdf> . Acesso em: 20 out. 2023.

LEMARG ENGENHARIA. **Corrosão em metais – Princípios e prevenção**. Disponível em: <https://lemarg.com.br/corrosao-em-metais/>. Acessado em: 13 nov. 2023.

LUXFER. **Tubos de aço**. Disponível em: <https://www.luxfer.com.br/tubos-de-aco>. Acessado em: 21 out. 2023.

MAAS ENGENHARIA & PROTEÇÃO CATÓDICA. **Proteção Anódica**. Disponível em: <https://www.maasengenharia.com.br/protacao-anodica>. Acessado em: 08 nov. 2023.

MARINHO, Gabrielle Laut Lopes. **CAMADAS DE CONVERSÃO SUBSTITUTAS AO CROMO HEXAVALENTE NA PROTEÇÃO ANTICORROSIVA DO AÇO GALVANIZADO**. 2018.

MONTEIRO, Thiago. **Proteção Anódica: como funciona e quais as aplicações?**, Dicionário do Petróleo. 2023. Disponível em: <https://dicionariodopetroleo.com.br/protacao-anodica/> Acesso em: 21 out. 2023.

NEGREIRO, Jean Carlos Correia. **Análise da preparação de superfície e da aplicação da pintura de reforço em chapas de aço ASTM A36**. Trabalho de Conclusão (Tecnólogo em Fabricação Mecânica) – Instituto Federal de educação, ciência e tecnologia de Santa Catarina. Jaraguá do Sul. 2018. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/245/Jean%20Carlos%20Correia%20de%20Negreiro_TCCFAB_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y . Acesso em: 22 out. 2023.

ONIXPRESS SOLUÇÃO EM AÇO. **Galvanização à fogo**. Disponível em: <http://www.oxipress.com.br/galvanizacao.html> . Acessado em: 05 nov. 2023.

PALATNIK, Sidnei. **Ensino a distância de Estruturas de Aço**. 2011. 194 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2011.

PANNONI, Fábio Domingos. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 4ª ed. Gerdau Açominas, 2007. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/12989482/principios-da-protacao-de-estruturas-metalicas-em-situacao-gerdau> . Acesso em: 21 out. 2023.

PATRÍCIO, H. CORREIA, M. J. PERNETA, H. **Estruturas metálica: Guia técnico de recomendações. Requisitos de durabilidade, processos de degradação, métodos de inspeção e reparação**. Lisboa, 2011. Disponível em: <http://repositorio.Inec.pt:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1003921/ASCP%202011%20-%20Estruturas%20Metálicas%20-%20Versão%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 20 out. 2023

PINHEIRO, A. C. F. B. **Estruturas metálicas: cálculo, detalhes, exercícios e projetos**. 2 ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005.

PIRES, T. M. S. **Proteção à corrosão de estruturas de aço**. 107f. Dissertação (Grau de Mestre em Engenharia Civil) – Universidade de Lisboa, Portugal, 2018.

PORTAL CONCRETO. **Aço para Concreto Armado**. Disponível em: <https://www.portaldoconcreto.com.br/aco-concreto-armado>. Acessado em: 02 nov. 2023.

SANTOS, Adilson. **Fabricação de aço CA-60 por amarras de fio-máquina**. Trabalho de Conclusão (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário Unicuritiba, Curitiba, 2022.

SILVA, M. V. F. *et al.* Corrosão do aço-carbono: uma abordagem do cotidiano no ensino de química. **Química Nova**, v. 38, p. 293-296, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/cVwbpdPmGzTFrGCBFsc368M/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 Out. 2023.

SILVA, P. V. L. **Avaliação da corrosão de aço para construção civil em diferentes amostras de água**. 48f. Trabalho de Conclusão (Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Bahia, 2018.

STEELLOTUS SERRELHARIA E ESTRUTURAS METÁLICAS. **Empresa de Manutenção Industrial**. Disponível em: <https://www.steellotus.com.br/empresa-manutencao-industrial>. Acessado em: 03 nov. 2023.

TORNADO MÁQUINAS. **Máquinas de Pintura Industrial**. Disponível em: <https://correndo.com.br/>. Acessado em: 13 nov. 2023.