



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - DECEN
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BRENO FRANCISCO FERNANDES

**Análise inicial do processo corrosivo nas estruturas metálicas de uma escola pública no
município de Rafael Fernandes-RN**

PAU DOS FERROS – RN

2024

BRENO FRANCISCO FERNANDES

Análise inicial do processo corrosivo nas estruturas metálicas de uma escola pública no município de Rafael Fernandes-RN

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Profa. Sanderlir Silva Dias

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

F345a Fernandes, Breno Francisco.
 Análise inicial dos processo corrosivo nas
 estruturas metálicas de uma escola pública no
 município de Rafael Fernandes/RN / Breno Francisco
 Fernandes. - 2024.
 44 f. : il.

 Orientadora: Sanderlir Silva Dias Dias.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
 Tecnologia, 2024.

 1. Corrosão. 2. Estruturas metálicas. 3.
 Efeitos da corrosão. 4. Tratamento. I. Dias,
 Sanderlir Silva Dias, orient. II. Título.

Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

BRENO FRANCISCO FERNANDES

Análise inicial do processo corrosivo nas estruturas metálicas de uma escola pública no município de Rafael Fernandes-RN

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendido em: 25 / 10 / 2024

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
SANDERLIR SILVA DIAS
Data: 25/10/2024 18:50:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias (UFERSA)
Presidente



Documento assinado digitalmente
ALINE MARA MAIA BESSA
Data: 26/10/2024 07:59:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Aline Mara Maia Bessa (UFERSA)
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
JOSE MARIANO DA SILVA NETO
Data: 26/10/2024 08:04:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Mariano da Silva Neto (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me abençoado em toda jornada acadêmica, sempre me mostrando caminhos mediante as dificuldades encontradas.

A minha família, em especial aos meus pais, Francisco de Assis Filho e Antonia Neuma Fernandes, por sempre acreditarem em meu potencial, por nunca terem medido esforços para que fosse possível alcançar meus objetivos e por terem me educado da melhor forma.

Aos meus irmãos, Bruna Sabrina Fernandes, Amanda Sonalle Fernandes, Gabriel Emanuel Fernandes costa e Gabriela Susana Fernandes, por sempre demonstrarem apoio incondicional e pela motivação constante.

Agradeço a minha namorada, Francisca Elivânia de Lima Barbosa, por sempre estar ao meu lado em todos os momentos, sempre me incentivando e aconselhando para as melhores decisões.

Ao meu pequeno sobrinho, Arthur Benício Fernandes Leão, por ter proporcionado alegria em meio a correria diária.

Agradeço à minha orientadora, Prof^{ta} Dra. Sanderlir Silva Dias, por ter contribuído significativamente ao longo do curso com seus ensinamentos e por ter instruído sobre a temática durante a construção deste trabalho.

A banca examinadora, pelas ponderações e contribuições fundamentais para o melhoramento deste trabalho.

Aos meus amigos, por terem me ajudado direta ou indiretamente nesta conquista.

Agradeço a todos que formam a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por proporcionar uma trajetória enriquecedora.

RESUMO

A corrosão ocorre de maneira espontânea devido à exposição a agentes naturais e, consequentemente, modifica os materiais de forma que sua durabilidade e performance deixam de atender aos seus propósitos originais. Posto isso, o presente trabalho tem como objetivo analisar e verificar os avanços do processo corrosivo presente nas estruturas metálicas que compõem a Escola Estadual Bernardino Rodrigues, localizada no Sítio Gangorra, zona rural de Rafael Fernandes/RN. Por conseguinte, foi realizada uma revisão teórica com embasamento bibliográfico, a fim de adquirir conhecimento para a pesquisa. Por meio das visitas ao local e registros fotográficos, percebeu-se a presença de algumas formas de corrosão, como uniforme, galvânica, em torno do cordão de solda, por placas e alveolar. O aparecimento desse fenômeno está associado a ações intempéries, no qual evidenciam-se a exposição a altas temperaturas em períodos quentes, presença de umidade em períodos chuvosos, acúmulo de sujeiras e poluentes sobre a superfície e falta de manutenção periódica nos portões e grades metálicas. Desse modo, é imprescindível o tratamento preventivo para minimizar os efeitos da corrosão, em que, com o estudo teórico foi possível verificar a importância e a necessidade da aplicação de inibidores e revestimentos orgânicos, a fim de desenvolver uma barreira protetora entre o meio e o material a ser preservado.

Palavras-chave: corrosão; estruturas metálicas; efeitos da corrosão; tratamento.

ABSTRACT

Corrosion occurs spontaneously due to exposure to natural agents and, consequently, modifies materials in such a way that their durability and performance no longer meet their original purposes. That said, this study aims to analyze and verify the progress of the corrosive process present in the metal structures that make up the Bernardino Rodrigues State School, located in Sítio Gangorra, in the rural area of Rafael Fernandes/RN. Therefore, a theoretical review was carried out with a bibliographical basis, in order to acquire knowledge for the research. Through site visits and photographic records, the presence of some forms of corrosion was noticed, such as uniform, galvanic, around the weld bead, by plate and alveolar. The appearance of this phenomenon is associated with weather conditions, which include exposure to high temperatures in hot periods, the presence of humidity in rainy periods, the accumulation of dirt and pollutants on the surface and the lack of periodic maintenance on gates and metal railings. Therefore, preventive treatment is essential to minimize the effects of corrosion, in which, through theoretical study, it was possible to verify the importance and need for the application of inhibitors and organic coatings, in order to develop a protective barrier between the environment and the material to be preserved.

Keywords: corrosion; metal structures; effects of corrosion; treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corrosão química em concreto armado	16
Figura 2 - Pilha de corrosão eletroquímica com dois eletrodos distintos	17
Figura 3 - Corrosão eletrolítica em aço-carbono ocasionadas por correntes de fuga.....	18
Figura 4 - Corrosão Uniforme	19
Figura 5 - Corrosão em torno do cordão de solda em um aço inoxidável	19
Figura 6 - Corrosão por placas	20
Figura 7 - Corrosão alveolar em tubo de aço-carbono	21
Figura 8 - Pites em uma chapa de aço inoxidável 304 causados por uma solução contendo ácido e cloreto	22
Figura 9 - Corrosão filiforme em superfície com película de tinta: notar filamentos entre os riscos que aparecem com ferrugem	22
Figura 10 - Corrosão em torno de cordão de solda.....	23
Figura 11 - Empolamento por hidrogênio em chapa de aço carbono	24
Figura 12 - Corrosão galvânica ao redor da entrada de uma bomba de drenagem de estágio simples.....	25
Figura 13 - Processo corrosivo em área com cordões de solda	25
Figura 14 - Representação esquemática das tintas em um composto de revestimento	29
Figura 15 - Fluxograma das etapas da pesquisa	32
Figura 16 – Mapa municipal de Rafael Fernandes/RN	33
Figura 17 – Vista frontal da Escola Estadual Bernardino Rodrigues	33
Figura 18 - Grades de proteção com corrosão uniforme	35
Figura 19 - Grade de proteção na janela.....	36
Figura 20 - Grade de proteção na porta de sala de aula.....	36
Figura 21 - Corrosão em fresta na base do portão de saída.....	37
Figura 22 - Corrosão em torno do cordão de solda na dobradiça do portão de saída.....	38
Figura 23 - Portão interno com fase inicial de corrosão alveolar	39

Figura 24 - Portão de entrada após revestimento	40
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PIB	Produto Interno Bruto
pH	Potencial Hidrogeniônico
RN	Rio Grande do Norte
SIGEDUC	Sistema Integrado de Gestão da Educação
TCP	Taxa de Penetração da Corrosão
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
°C	Celsius
Cr ₂₃ C ₆	Carbeto de cromo
Cu	Cobre
H ₂	Hidrogênio molecular
Mg	Magnésio
%	Porcentagem
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
3 OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
5 REVISÃO TEÓRICA	15
5.1 CORROSÃO.....	15
5.2 TIPOS DE CORROSÃO	15
5.3 FORMAS DE CORROSÃO	18
5.4 MEIOS CORROSIVOS.....	26
5.5 MÉTODOS DE PREVENÇÃO CONTRA A CORROSÃO	27
6 METODOLOGIA	31
6.1 LOCAL DE ESTUDO	32
6.2 CARACTERIZAÇÃO DA ESCOLA.....	33
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
7.1 GRADES DE PROTEÇÃO	34
7.2 PORTÕES	37
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

O uso de materiais metálicos na construção se tornou muito comum a partir de sua descoberta, visto que suas propriedades trazem qualidade e segurança à estrutura. Atrelado a isto, o homem sofre com o processo corrosivo desses materiais, uma vez que, a corrosão modifica suas características trazendo a deterioração e comprometendo seu uso eficaz. Além disso, tais problemas geram prejuízos econômicos e colocam em risco a vida humana (Frauches-Santos *et al.* 2014).

Nesse contexto, mediante o uso de materiais metálicos em setores variados, essa patologia sempre entra em pauta. A corrosão ocorre de maneira espontânea devido ao contato com agentes naturais e, conseqüentemente, transformam os materiais de modo que a durabilidade e desempenho deles deixam de satisfazer os fins destinados. Desse modo, a deterioração proveniente do processo corrosivo pode ocorrer por ação física, química ou eletroquímica do meio ambiente. Em um processo eletroquímico, por exemplo, o material sofre oxidação, onde ocorre a perda de elétrons, enquanto o outro componente sofre redução, adquirindo elétrons. Este processo é desencadeado pelo fato de o metal possuir um potencial de redução inferior ao do material ou meio com o qual interage (Frauches-Santos *et al.* 2014).

No cotidiano, é possível perceber a manifestação desse fenômeno em objetos comuns, como portões, fogões, meios de transporte, geladeiras, entre outros. Somado a essa observação, a corrosão toma grande proporção e atinge meios de transporte aéreo, ferroviário e rodoviário, além de danificar esculturas e monumentos de arte, chegando até indústrias químicas e petrolíferas. Grande parte desses acontecimentos passa como despercebido em muitos casos, proporcionando o agravamento da corrosividade dos materiais, sendo irreversível qualquer manutenção do mesmo, acarretando na perda total do material e, conseqüentemente, gera prejuízos econômicos (Frauches-Santos *et al.* 2014).

Essas manifestações corrosivas tornam-se um desafio para humanidade, pois sempre encontram novas formas de se manifestar. Em alguns casos é necessário a substituição do material desgastado por um novo, mas o custo pela troca é de 20 a 50 vezes mais alto, inviabilizando a sua reposição. Nesse sentido, é mais frequente a utilização de técnicas anticorrosivas para a prevenção da corrosão, a qual, pode ser aplicada a proteção catódica e anódica, revestimentos protetores e inibidores de corrosão (Merçon *et al.* 2004).

A corrosão metálica afeta de forma significativa a economia de um país, pois calcula-se que cerca de 5% do PIB de uma nação é destinado a medidas de prevenção, bem como à

manutenção e substituição dos produtos danificados ou deteriorados por esse fenômeno (Callister, 2018).

No âmbito específico dos materiais metálicos na Escola Estadual Bernardino Rodrigues, existe um vago entendimento em relação ao avanço da corrosão nessas estruturas, identificação do tipo de corrosão presente e suas referidas causas. Nesse contexto, surge a seguinte questão: Como a corrosão tem afetado as estruturas metálicas no ambiente da Escola Estadual Bernardino Rodrigues, e quais fatores contribuem para esse fenômeno?

Desse modo, este trabalho visa explorar e analisar, de maneira aprofundada, as formas da corrosão, evidenciando seus impactos sobre as estruturas metálicas da escola. Pretende-se, ainda, definir formas preventivas e de proteção que possam reduzir significativamente essa patologia, destacando a importância do controle e prevenção desse fenômeno persistente para o avanço sustentável em diversas áreas da engenharia e tecnologia.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o fenômeno corrosivo em estruturas metálicas na Escola Estadual Bernardino Rodrigues no Sítio Gangorra em Rafael Fernandes/RN, com o intuito de identificar o avanço dessa patologia, evidenciando seus principais agentes causadores.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar o desenvolvimento da corrosão nas grades de proteção e portões da escola.
- Identificar os tipos de corrosão presentes.
- Mostrar os agentes causadores do processo corrosivo.
- Vistoriar o local e fotografar para acompanhar o avanço da corrosão.
- Apresentar medidas preventivas para prolongar a vida útil das estruturas metálicas.

5 REVISÃO TEÓRICA

5.1 CORROSÃO

O processo corrosivo de um material, geralmente metálico, é resultante da ação química ou eletroquímica do meio ambiente em conjunto ou não com esforços mecânicos. A deterioração resultante da interação físico-química entre o material e o meio em que se encontra provoca modificações prejudiciais e indesejáveis, como desgaste, alterações químicas e modificações estruturais, tornando o material inadequado para sua utilização (Gentil, 2011).

Segundo Callister (2018), o problema da corrosão metálica apresenta dimensões consideráveis, visto que, do ponto de vista econômico, estima-se que aproximadamente 5% das receitas de uma nação industrializada sejam destinadas para medidas de manutenção e prevenção contra a corrosão, ou substituição de produtos que foram perdidos ou contaminados devido a processos corrosivos.

A corrosão, em geral, proveniente de um processo espontâneo, causa grandes problemas nas mais variadas atividades e transforma os materiais metálicos, diminuindo sua durabilidade e desempenho (Gentil, 2011). Desse modo, a corrosão pode se manifestar de diferentes formas, sendo reconhecidas por meio de sua aparência, causa e forma de ataque.

Setores como a engenharia, a construção e a indústria sofrem impactos significativos. Em edifícios, pontes e estruturas, a corrosão pode comprometer a integridade estrutural, resultando em acidentes e falhas graves. Equipamentos corroídos pelo tempo podem aumentar os custos de manutenção (Gentil, 2011).

5.2 TIPOS DE CORROSÃO

Segundo Gentil (2011), os tipos de corrosão são empregados para caracterizar processos em que se ocorre a perda total, parcial ou superficial do material. Dessa forma, a corrosão pode ser classificada como química, eletroquímica ou eletrolítica, variando conforme o tipo de material, as condições em que o mesmo está exposto. Diante disso, conforme os elementos citados, torna-se necessário compreender os diferentes comportamentos da corrosão acerca de cada um.

5.2.1 Corrosão Química

A corrosão química desencadeia-se quando um agente químico ataca diretamente o material, sem a transferência de elétrons, resultando na ausência da formação de corrente elétrica. Nesse mecanismo, o meio corrosivo e o material exposto sofrem uma reação química, levando a formação de um produto de corrosão sobre a superfície do material (Figura 1). Esse processo, geralmente encontrado em condições de alta temperatura, como em fornos, caldeiras e unidades de processo, provoca a deterioração do material devido à ação direta de substâncias químicas presentes no ambiente. (Frauches-Santos *et al.*, 2014).

Figura 1 - Corrosão química em concreto armado



Fonte: Merçon, *et al.* 2004.

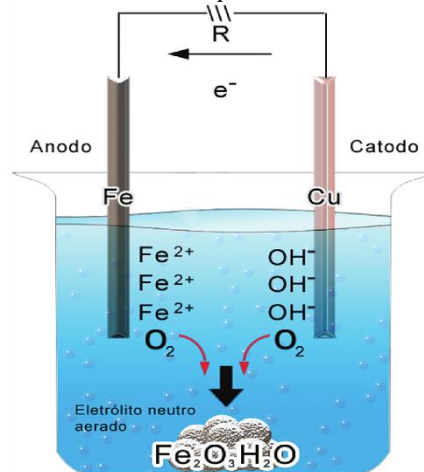
5.2.2 Corrosão Eletroquímica

A corrosão eletroquímica ocorre através de uma reação química em que há transferência de elétrons de um material para outro. Nesse processo, os átomos dos metais caracterizam-se por perder ou ganhar elétrons, no qual essa reação é conhecida como oxidação. Os elétrons provenientes dos metais oxidados são transferidos para outra espécie química, tornando-se parte deles, conhecida por reação de redução (Callister, 2018).

Segundo Merçon *et al.* (2004), esse tipo de corrosão ocorre de forma espontânea, em que o metal entra em contato com um eletrólito, resultando em reações catódicas e anódicas, simultaneamente. É caracterizado por realizar-se obrigatoriamente em água, sendo mais comum

na temperatura ambiente e forma uma pilha de corrosão. Desse modo, a Figura 2 mostra esse tipo de corrosão, através de dois eletrodos distintos.

Figura 2 - Pilha de corrosão eletroquímica com dois eletrodos distintos



Fonte: Merçon, *et al.* 2004.

5.2.3 Corrosão Eletrolítica

Conhecida por ser um fenômeno não espontâneo, a corrosão eletrolítica é decorrente de correntes elétricas externas que promovem casos sérios de corrosão. Essas correntes são conhecidas também como correntes de fuga, estranhas, parasitas, vagabundas ou espúrias e podem ser encontradas em dutos enterrados, como oleodutos, gasodutos, adutoras, minerodutos e cabos telefônicos (Gentil, 2011).

Geralmente essas correntes ocorrem devido a falhas de isolamento ou aterramento, que não atendem as especificações técnicas adequadas. Em geral, acontecem furos isolados nas instalações, nos quais a corrente se dispersa para o solo (Merçon *et al.*, 2004). A Figura 3 mostra como fica o material afetado por esse tipo de manifestação.

Figura 3 - Corrosão eletrolítica em aço-carbono ocasionadas por correntes de fuga



Fonte: Gentil, 2011.

5.3 FORMAS DE CORROSÃO

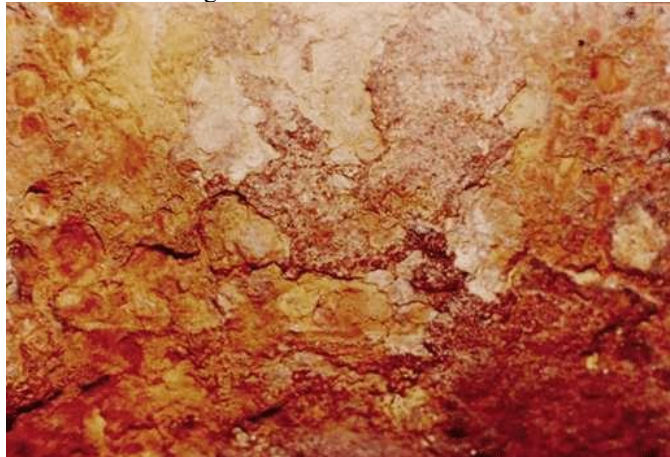
“A corrosão pode ocorrer sob diferentes formas, e o conhecimento das mesmas é muito importante no estudo dos processos corrosivos” (Gentil, 2011, p.158). Dessa forma, a superfície de um material corroído apresenta diferentes aparências e características visíveis, no qual é possível identificar as principais formas de corrosão. “A forma sob a qual a corrosão aparece não é sempre a mesma. De fato, a caracterização da forma auxilia na elucidação dos “mecanismos” de corrosão e na aplicação de medidas de proteção” (Araujo, 1999, p.23).

Dentre as principais formas de corrosão, pode-se destacar a corrosão uniforme, intergranular, por placas, alveolar, puntiforme ou por pite, filiforme, por esfoliação, por empolamento, galvânica, e em torno da solda.

5.3.2 Corrosão Uniforme

A corrosão uniforme se estende por toda a superfície do material, ocorrendo a formação de incrustação ou um depósito, promovendo a perda uniforme do material. Essa forma de corrosão é frequentemente encontrada em estruturas metálicas expostas ao ambiente. A descoloração da superfície do material afetado pode indicar impacto, pois pode acabar com aparecimento de ferrugem (Gasparoni e Rodrigues, 2020). Essa forma de manifestação pode ser observada na Figura 4:

Figura 4 - Corrosão Uniforme

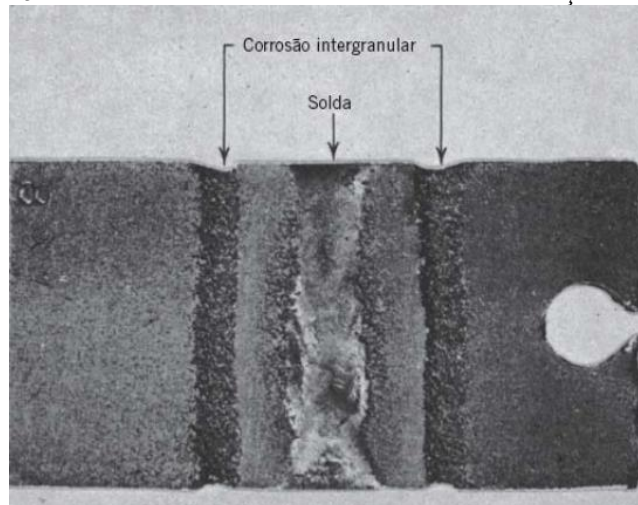


Fonte: GENTIL, 2011.

5.3.3 Corrosão Intergranular

Segundo Callister (2018), a corrosão intergranular é um problema sério, frequentemente observada na soldagem de aços inoxidáveis, sendo denominada corrosão em torno do cordão de solda, como mostra a Figura 5. A amostra macroscópica que se fragmenta ao longo de seus contornos de grão é o resultado desse processo. Uma vez aquecidos a uma temperatura entre 500°C e 800°C, ocorre a formação de partículas de precipitados de carbeto de cromo (Cr_{23}C_6) pela interação entre o cromo e o carbono no aço inoxidável. Essas duas substâncias se dispersam em torno do grão e formam os precipitados, deixando a região mais abrangente à corrosão.

Figura 5 - Corrosão em torno do cordão de solda em um aço inoxidável



Fonte: Callister, 2018.

5.3.4 Corrosão por Placas

Conforme Gasparoni e Rodrigues (2020), essa forma de corrosão se manifesta de maneira localizada, em que depósitos de resíduos se acumulam em áreas específicas do material. Com o tempo, isso causa alteração no relevo da peça e escavações (Figura 6).

Esse processo geralmente ocorre em materiais que possuem suas primeiras películas protetoras, se tornam espessas, perdem aderência e fraturam. Com isso, a vulnerabilidade do material a novos ataques corrosivos aumenta, causando redução em suas propriedades mecânicas e estruturais, porque afeta apenas áreas específicas da superfície, ocasionando danos (Nunes, 2007).

Figura 6 - Corrosão por placas



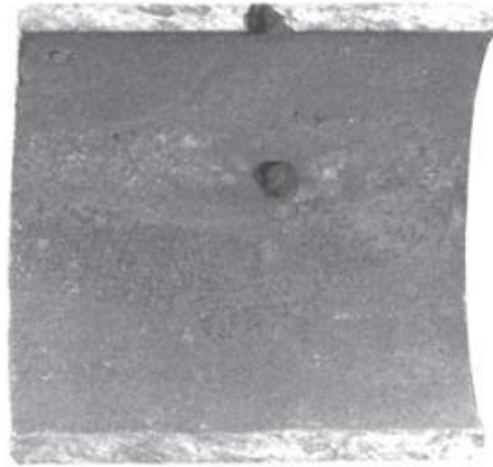
Fonte: Gentil, 2011.

5.3.5 Corrosão Alveolar

Nessa manifestação, o desgaste causado pela corrosão é localizado e tem aparência de crateras, semelhante à estrutura do alvéolo. É comumente encontrado em metais que formam filmes semiprotetores ou quando há corrosão sob depósito, como corrosão por aeração diferencial. Além disso, o acúmulo de água em frestas e cordão de solda do material são fatores que aceleram a corrosão. (Nunes, 2007).

Segundo Gentil (2011), a corrosão alveolar ocorre em pequenas áreas, em que o alvéolo formado apresenta fundo arredondado e profundidade inferior ao seu diâmetro. Essa forma de corrosão pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 - Corrosão alveolar em tubo de aço-carbono



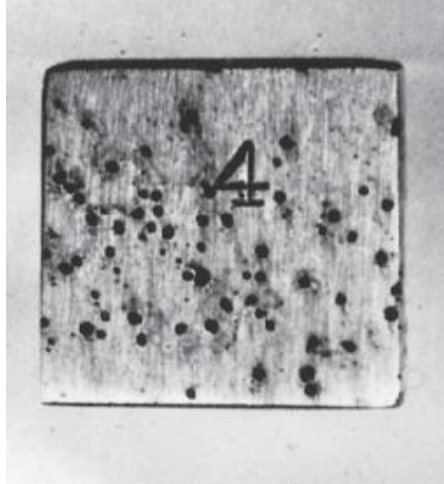
Fonte: Gentil, 2011.

5.3.6 Corrosão Puntiforme ou por Pite

Esse tipo de ataque é uma das formas mais comuns de ocorrer. A corrosão por pite age de forma localizada e geralmente imperceptível, pois ocorre a formação de pequenos pites ou buracos na parte horizontal do material, e penetram até atingir seu interior, seguindo uma direção vertical, como mostra a Figura 8. Desse modo, essa forma de corrosão é preocupante porque compromete a integridade estrutural do material com poucos danos aparentes visíveis.

O processo inicial do pite pode se desenvolver através de um defeito superficial no material, como um aranhão. Nesse contexto, os aços inoxidáveis são susceptíveis a essa forma de corrosão, em que, a adição de cerca de 2% de molibdênio e o polimento da superfície aumenta significativamente a resistência à deterioração desses aços (Callister, 2018).

Figura 8 - Pites em uma chapa de aço inoxidável 304 causados por uma solução contendo ácido e cloreto

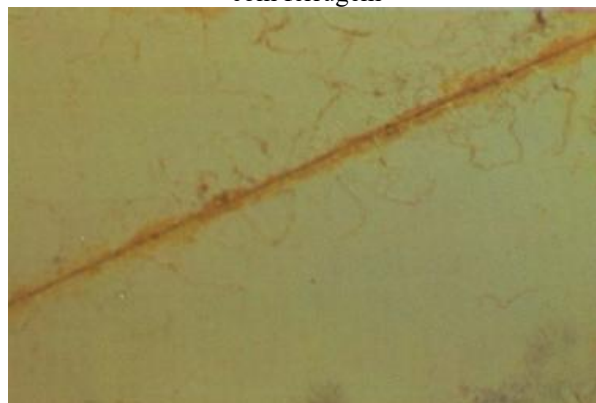


Fonte: Callister, 2018.

5.3.7 Corrosão Filiforme

A corrosão filiforme é um tipo de corrosão que ocorre sob tipos de revestimentos, principalmente pintura. Semelhante a corrosão por frestas, ocorre aeração diferencial devido a falhas na camada protetora de tinta. Sua manifestação inicial começa nas bordas do material, progride através de um filamento não profundo apresentando características de reflexão com o mesmo ângulo de incidência em barreiras (Nunes, 2007). Nesse contexto, a verificação da corrosão filiforme é mostrada na Figura 9.

Figura 9 - Corrosão filiforme em superfície com película de tinta: notar filamentos entre os riscos que aparecem com ferrugem

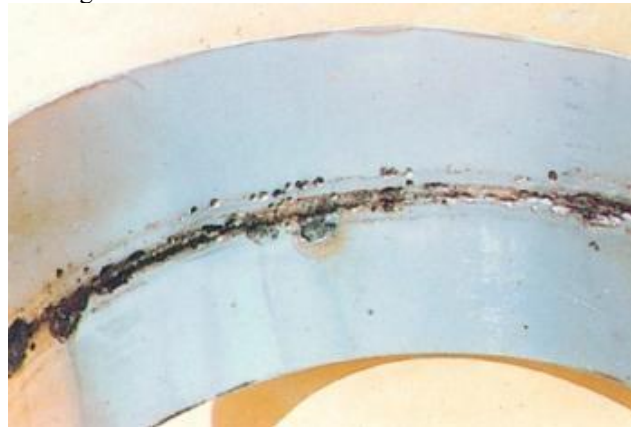


Fonte: Gentil, 2011.

5.3.8 Corrosão por Esfoliação

Esse tipo de corrosão ocorre paralelamente à superfície metálica, no qual o material se desintegra formando placas (Figura 10). Isso ocorre quando chapas ou componentes metálicos sofrem deformação por meio de um trabalho mecânico, ou seja, o material tem seus grãos esticados e achatados formando plaquetas alongadas. O resultado dessa corrosão, que ocupa mais espaço, resulta da divisão de camadas entre as regiões corroídas e consequentemente na perda constante da peça metálica. Diante disso, essa forma corrosiva é frequentemente encontrada em ligas de alumínio das séries 2.000 (Al, Cu, Mg), 5.000 (Al, Mg) e 7.000 (Al, Zn, Cu, Mg) (Gentil, 2011).

Figura 10 - Corrosão em torno de cordão de solda



Fonte: Gentil, 2011.

5.3.9 Corrosão por Empolamento

Uma vez em contato com o material metálico, o hidrogênio atômico penetra no objeto e, devido ao seu volume atômico reduzido, consegue difundir-se rapidamente. Durante esse processo, o hidrogênio atômico se transforma em hidrogênio molecular (H_2) ao ocupar áreas descontínuas, como vazios, gerando pressão e causando a formação de bolhas conforme Figura 11 (Gentil, 2011).

Nessa perspectiva, o material metálico tem sua morfologia e resistência mecânica alteradas, tornando-se mais poroso e enfraquecido. A integridade do material é comprometida por esse fenômeno e pode resultar em falhas estruturais (Gasparoni e Rodrigues, 2020).

Figura 11 - Empolamento por hidrogênio em chapa de aço carbono



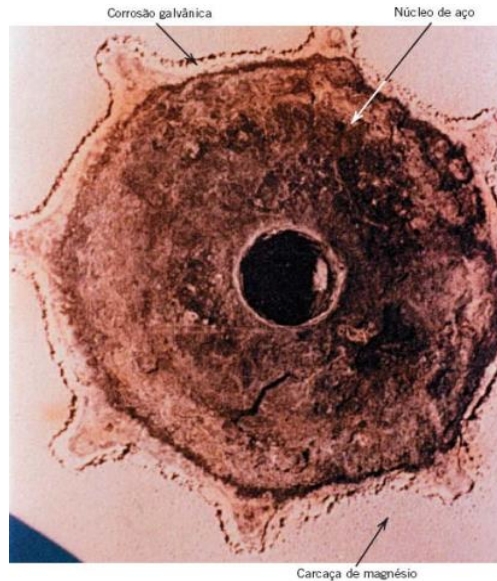
Fonte: Gentil, 2011.

5.3.10 Corrosão Galvânica

A corrosão galvânica é um processo corrosivo causado pelo contato elétrico de materiais diferentes. Quanto mais distante os materiais estão na tabela de potenciais eletroquímicos mais forte é a corrosão (Nunes, 2007). Quando os materiais com diferentes potenciais são imersos em um eletrólito sofrem uma diferença de potencial e, conseqüentemente, há a transferência de elétrons um para outro (Gentil, 2011).

Nessa manifestação, o metal menos nobre, que funciona como ânodo, sofre uma corrosão acentuada, enquanto o metal mais nobre, o cátodo, sofre uma menor corrosividade (Callister, 2018). Além disso, esse tipo de corrosão caracteriza-se por apresentar corrosão localizada próxima à região do acoplamento, resultando em perfurações profundas no material metálico que funciona como ânodo (Gentil, 2011). A figura 12 especifica de forma clara como se comporta a corrosão por galvanização.

Figura 12 - Corrosão galvânica ao redor da entrada de uma bomba de drenagem de estágio simples



Fonte: Callister, 2018.

5.3.11 Corrosão em Torno da Solda

Facilmente visualizada, essa forma de ataque corrosivo se localiza ao redor do cordão de solda (Figura 13). Presente em aços inoxidáveis e aços com um teor de carbono acima de 0.03%, essa corrosão é causada pela formação de uma pilha galvânica entre vários materiais da matriz metálica e metal soldado (Gasparoni e Rodrigues, 2020).

Segundo Gentil (2011), a degradação em torno da solda pode ocorrer em aços inoxidáveis aquecidos a uma temperatura de 400°C e 950°C e, posteriormente, em materiais corrosivos que atacam as bordas dos grãos. O aquecimento inadequado desses aços provoca a redução de sua resistência mecânica.

Figura 13 - Processo corrosivo em área com cordões de solda



Fonte: Gentil, 2011.

5.4 MEIOS CORROSIVOS

Qualquer material exposto a condições agressivas pode sofrer corrosão. Em geral, os processos corrosivos podem estar associados aos seguintes meios agressivos: a atmosfera, o solo e as águas (Felipe *et al.*, 2013).

5.4.1 Atmosférico

Entende-se corrosão atmosférica como sendo a corrosividade em estruturas aéreas. A umidade relativa do ar, do teor de gases decorrentes da queima de combustão e do teor de sais em suspensão são fatores que determinam a intensidade da corrosão atmosférica (Nunes, 2007).

Segundo (Callister, 2018), a presença de compostos a base de enxofre e cloreto de sódio presentes na umidade atmosférica contribuem para a corrosão. Além disso, a existência de oxigênio dissolvido na umidade é o principal fator corrosivo, sendo a corrosão atmosférica o meio responsável pelas maiores perdas de materiais. De acordo com Gentil (2011), a corrosão atmosférica pode ser classificada como seca, úmida e molhada.

5.4.2 Solo

Segundo Gasparoni e Rodrigues (2020), o solo é um meio corrosivo que dificulta a avaliação da corrosão devido a sua complexibilidade. Dessa forma, o estudo das suas características são fatores fundamentais para prevenir a corrosão.

Além da vulnerabilidade do solo, a natureza do solo é um fator determinante na velocidade da corrosão. Entre suas variáveis de composição estão a umidade, microrganismos, teor de sais e pH (Callister, 2018).

Com isso, é imprescindível conhecer o comportamento do solo como meio corrosivo, pois afeta extensões de tubulações enterradas, como oleodutos, tanques de combustíveis, adutoras, entre outros. Ao atingir tanques enterrados de combustíveis, por exemplo, a corrosão perfura o reservatório e causa vazamentos, contaminando o solo e provocando incêndios (Gentil, 2011).

5.4.3 Águas

A corrosão pode se desenvolver em ambientes aquáticos, agindo sobre estruturas submersas em rios, lagos e mar, bem como sistemas que utilizam água em seu interior. Esse processo corrosivo pode afetar estruturas metálicas como tubulações submersas, instalações de distribuição de água e embarcações, por exemplo (Nunes, 2007).

De acordo com Gentil (2011), os ambientes aquosos apresentam uma variedade de substâncias que contribuem para a corrosão metálica, destacando-se os gases dissolvidos, sais dissolvidos, matéria orgânica, sólidos suspensos e microorganismos. Além disso, conforme Gasparoni e Rodrigues (2020), as águas naturais podem conter elementos específicos que agravam a corrosão, incluindo poluentes, agrotóxicos, efluentes domésticos e industriais, além de sua agitação natural.

A depender da composição da água em que os metais estão expostos, a corrosão pode ser mais acentuada. Na água doce, é comum a presença de oxigênio dissolvidos e minerais, e muitos destes são responsáveis pelo seu grau de corrosividade, que é menor do que na água do mar. Aproximadamente 3,5 % de sal está presente na água marinha, o que a torna mais corrosiva e, conseqüentemente, desenvolve a corrosão em frestas e por pite (Callister, 2018).

5.5 MÉTODOS DE PREVENÇÃO CONTRA A CORROSÃO

5.5.1 Proteção catódica

Segundo Callister (2018), a proteção catódica é um dos métodos mais eficientes na proteção contra a deterioração de materiais metálicos, podendo ser usada na maioria dos tipos de corrosão e, em alguns casos, pode impedir totalmente o processo corrosivo nos metais.

“Nos sistemas por anodos galvânicos ou de sacrifício, a corrente de proteção catódica é fornecida pela diferença de potencial que existe entre o anodo galvânico (alumínio, magnésio ou zinco) e a estrutura metálica de aço-carbono” (Mainier e Leta, 2001, p.9). Nesse processo de proteção de par galvânico, o metal a ser protegido é conectado eletricamente a outro metal, que é mais reativo nesse ambiente específico. O último metal, ao ceder elétrons, se oxida e protege o primeiro metal contra a corrosão (Callister, 2018).

Na proteção catódica por corrente impressa é utilizada uma fonte externa, no qual elétrons são transferidos ao metal a ser protegido, tornando-o um cátodo. Nessa perspectiva, a aplicação dessa proteção em tubulações e tanques enterrados em postos de serviço ajuda a evitar

a corrosividade do material. A proteção catódica também funciona para complementar as falhas e os poros de revestimento externo dos tanques e protege as tubulações galvanizadas (Mainier e Leta, 2001).

5.5.2 Proteção anódica

De acordo com Frauches-Santos *et al* (2014), a proteção anódica consiste na formação de um filme aderente insolúvel sobre a superfície do material, protegendo contra a corrosão. Essa película se forma através da reação entre o protetor e o produto da corrosão por aplicação de corrente anódica externa. Assim, na reação anódica há a migração dos protetores anódicos para uma superfície anódica, promovendo passivação na presença de oxigênio dissolvido.

“Esse método de controle de corrosão tem sucesso somente em sistemas que apresentam um comportamento de polarização anódica ativo-passivo” (Nunes, 2007, p.215). Dessa maneira, esse tipo de proteção só pode ser aplicado em metais e ligas, como titânio, cromo, ferro cromo e ligas de ferro cromo níquel. Sua utilização se concentra em eletrólitos fortes, que podem ser encontrados em tanques metálicos para armazenamento de ácidos (Frauches-Santos *et al*, 2014).

5.5.3 Revestimentos

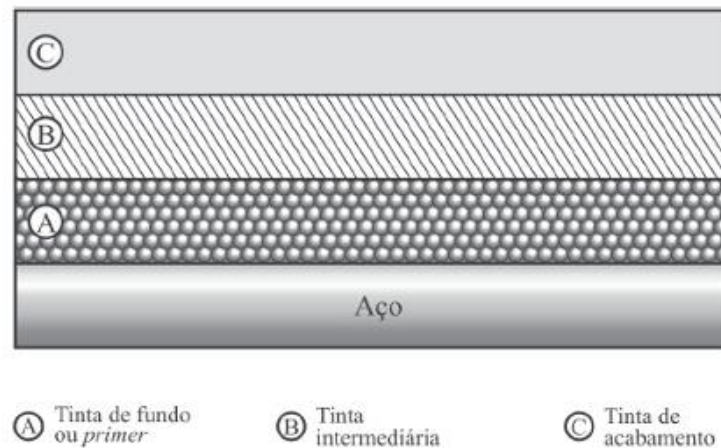
Um dos métodos de controlar a corrosão consiste em alternar uma camada de proteção entre o metal e o meio corrosivo. Essas camadas de segurança são de formação natural ou artificial, e às vezes simultaneamente (Gentil, 2011). Assim, as tintas, denominadas de pintura industrial, são importantes revestimentos na proteção contra a corrosão (Nunes, 2007).

Os revestimentos orgânicos podem ser usados em estruturas expostas ao meio atmosférico, bem como em estruturas submersas. Apesar de ser menos comum, podem ser empregados em estruturas enterradas. Normalmente, a pintura é um revestimento de menor espessura, mas em casos específicos atinge espessuras mais altas (Dutra e Nunes, 2011). Nesse sentido, a tinta quando empregada em uma superfície, acontece o processo de secagem ou cura e forma um filme sólido com espessura fina, no qual suas características principais são: aderência, impermeabilidade e flexibilidade (Frauches-Santos, *et al*. 2014).

Segundo Dutra e Nunes (2011) e Gentil (2011), para que o revestimento por pintura satisfaça aos fins desejados, é necessário que obedeça a uma esquematização adequada. Em princípio, é usado uma tinta de fundo, aplicada diretamente sobre o metal, que possui pigmentos

anticorrosivos e garante a aderência das pinturas posteriores. Em seguida, é usada as tintas intermediárias que têm a função de aumentar a espessura do revestimento e evitar a formação de bolhas e descascamento. Ademais, é empregada a tinta de acabamento, que tem por objetivo, garantir a resistência química do revestimento, auxiliar na proteção e apresentar aspecto final ao revestimento. Desse modo, a Figura 14 mostra as camadas de um esquema de tintura.

Figura 14 - Representação esquemática das tintas em um composto de revestimento



Fonte: Gentil, 2011.

5.5.4 Inibidores de corrosão

“Os inibidores de corrosão são substâncias inorgânicas ou orgânicas que, adicionadas ao meio corrosivo, objetivam evitar, prevenir ou impedir o desenvolvimento das reações de corrosão, sejam elas na fase gasosa, aquosa ou oleosa” (Merçon et al, 2004, p.14). Segundo Callister (2018), o uso de inibidores depende da liga e do ambiente corrosivo, e a verificação de seu mecanismo de utilização é imprescindível para garantir sua eficiência.

Nesse contexto, de acordo com Gentil (2011), é preciso examinar quatro aspectos para que o uso de inibidores seja satisfatório. É importante entender a causa da corrosão no sistema, o custo da sua utilização, as propriedades e os mecanismos de ação dos inibidores a serem usados e as condições adequadas de adição e controle. Essas verificações ajudam a identificar os problemas que sejam solucionados com os inibidores, permitindo a análise da vida útil do material, determinando a viabilidade do investimento. Além disso, essa perspectiva garante a análise de compatibilidade com o processo em operação e com materiais metálicos usados.

Os inibidores de corrosão podem ser classificados a partir de sua composição e comportamento. Com relação a composição química, os inibidores são identificados entre orgânicos e inorgânicos. E quanto ao comportamento, existem os inibidores oxidantes, não

oxidantes, anódicos, catódicos e de adsorção (Gentil, 2011). Dessa maneira, para impedir ou diminuir a ação corrosiva e aumentar a proteção contra essa patologia, é viável usar os inibidores de corrosão mediante sua classificação.

6 METODOLOGIA

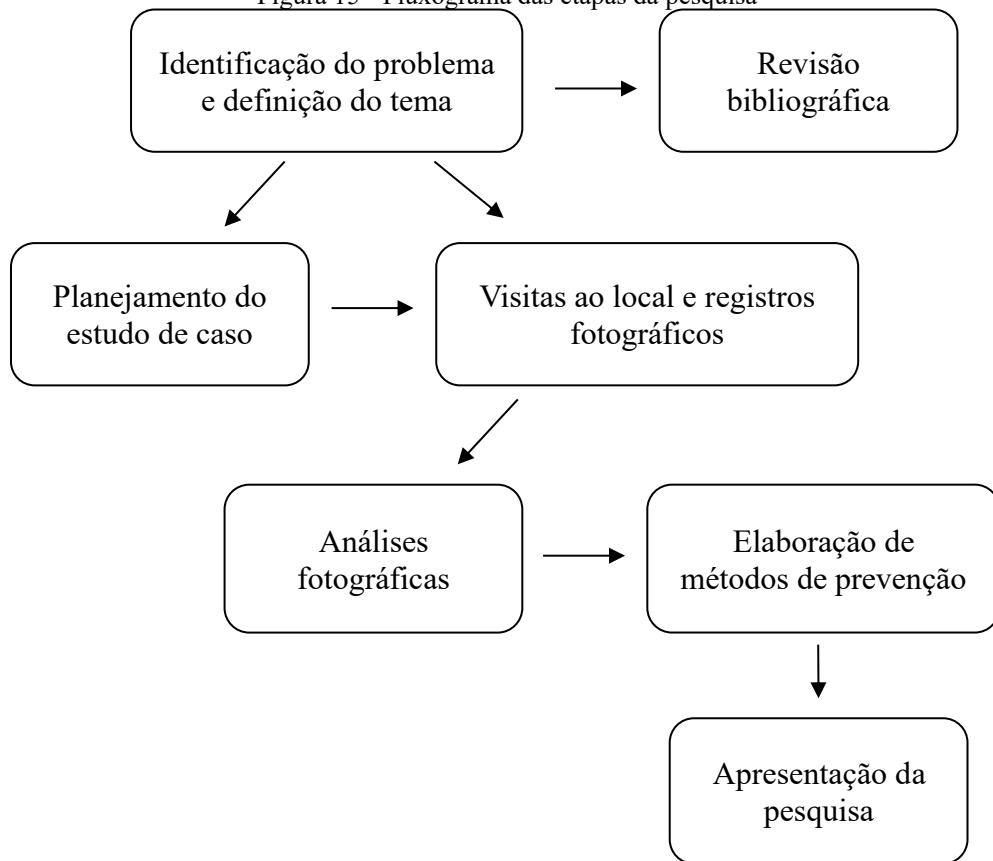
Mediante a temática abordada, realizou-se um estudo bibliográfico acerca do processo corrosivo, com embasamento em artigos científicos, teses, dissertações e livros, no intuito de adquirir conhecimentos sobre a corrosão, suas causas e consequências, assim como, uma avaliação acerca do material metálico a ser trabalhado. Nessa perspectiva, é possível o aprofundamento no assunto para a realização de visitas ao local, registrar os danos presentes e estabelecer relações entre o estudo de caso e a teoria.

O estudo de caso foi realizado, através do método de observação, na Escola Estadual Bernardino Rodrigues localizada no Sítio Gangorra no município de Rafael Fernandes/RN. Em vista disso, a concretização da coleta de dados para pesquisa foi desenvolvida por meio de visitas ao local e registro de fotografias, visando mostrar os danos causados em partes metálicas presentes na escola, com o objetivo de compreender a patologia estudada, bem como identificar as possíveis causas. Desse modo, realizou-se um acompanhamento da manifestação corrosiva por um período de 4 meses (junho, julho, agosto, setembro) no ano de 2024, comparando de forma conjunta com a pesquisa bibliográfica.

Ao longo do estudo, realizou-se uma comparação entre a pesquisa bibliográfica e o estudo de caso, com ênfase nas observações feitas durante o acompanhamento. Nos meses destinados à pesquisa (junho, julho, agosto, setembro), realizou-se registros fotográficos, com objetivo de coletar informações sobre o avanço da corrosão no decorrer do segundo semestre do ano, em que, segundo a empresa de meteorologia Climatempo possui uma média de temperatura de 31,5° C, determinado como mais quente. Esse monitoramento aconteceu após os metais terem passado por um período marcado por chuvas, no primeiro semestre. Além disso, durante as visitas ao local observou-se, ainda, um processo de pintura nas partes metálicas no qual foi anotado as condições antes e depois do reparo. Dessa forma, buscou-se relacionar o progresso da corrosão nas grades de proteção e portões por meio desses fatores que impactam a corrosão.

Após a conclusão do acompanhamento, foram realizados registros do processo corrosivo nas partes metálicas da escola, bem como a verificação das hipóteses causadoras dessas irregularidades. Dessa forma, após todo o procedimento, foi possível definir métodos de prevenção e proteção, a fim de reduzir os impactos da corrosão e consequentemente prolongar a vida útil das estruturas metálicas presentes no local em estudo. A Figura 15 mostra o fluxograma de forma detalhada sobre as etapas estabelecidas na pesquisa.

Figura 15 - Fluxograma das etapas da pesquisa



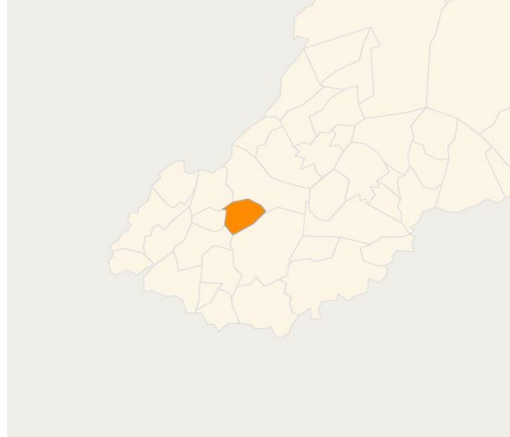
Fonte: Autor, 2024.

6.1 LOCAL DE ESTUDO

O município de Rafael Fernandes está situado no interior do estado do Rio Grande do Norte, a 401 km da capital Natal. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no último censo em 2022, a cidade contava com 5.432 habitantes em uma área territorial de 78,231 km², possuindo distribuição de 69,44 hab/km². O local estudado localiza-se no Sítio Gangorra, zona rural do município de Rafael Fernandes/RN, distanciando-se a 6 km da zona urbana. Na figura 16 define a visibilidade do local estudado.

Segundo a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), no ano de 2024, o município atual registrou quedas significativas nas precipitações de chuva a partir do mês de junho, onde registrou-se 34,6 mm, chegando a 2,8 mm no mês de setembro. Diante disso, conforme a empresa de meteorologia Climatempo, a cidade de Rafael Fernandes/RN possui uma temperatura média de 31,5° C em relação aos meses de junho a setembro, evidenciando-se um período mais quente.

Figura 16 – Mapa municipal de Rafael Fernandes/RN



Fonte: IBGE, 2024.

6.2 CARACTERIZAÇÃO DA ESCOLA

A Escola Estadual Bernardino Rodrigues conta com uma infraestrutura antiga, no qual passou poucas vezes por manutenção e reforma. Atualmente, a escola comporta a rede de ensino fundamental I e II, em que, segundo o Sistema Integrado de Gestão da Educação (SIGEDUC) a escola conta com apenas 13 alunos matriculados e 3 professores. Na Figura 17 é possível visualizar a faixa frontal da escola.

Figura 17 – Vista frontal da Escola Estadual Bernardino Rodrigues



Fonte: Autor, 2024.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através das visitas realizadas ao local de estudo, percebeu-se um avanço significativo do processo corrosivo nas estruturas metálicas da escola. A partir disso, e por meio de registros fotográficos, foi possível verificar os locais mais danificados que compõem a Escola Estadual Bernardino Rodrigues.

7.1 GRADES DE PROTEÇÃO

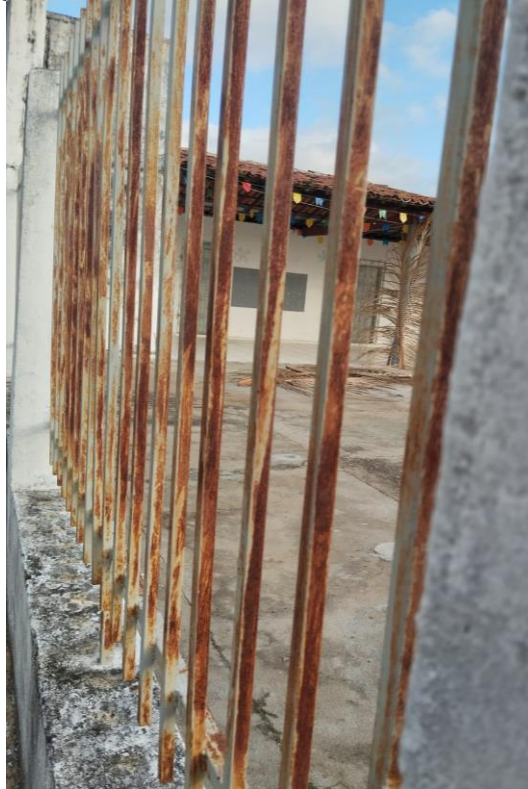
As grades de proteção foram instaladas para compor o cercado da escola e evitar que as crianças saíssem do interior do ambiente escolar. As grades metálicas estão acopladas a pilares de concreto e expostas ao ambiente.

Na Figura 18 identificou-se uma corrosão uniforme do material, no qual, segundo Gentil (2011), esse tipo corrosão se manifesta em toda a superfície do material, provocando sua perda uniforme de espessura. Além disso, decorrente do processo corrosivo, percebeu-se a cor avermelhada do metal e a perda do seu brilho, comprovando a presença da ferrugem em sua superfície. De acordo com Callister (2018), sobre a superfície do material exposto ocorrem reações de oxidação e redução de forma aleatória, caracterizando-se como uma forma de corrosão eletroquímica.

Nesse sentido, essa manifestação pode ter sido ocasionada por diversos fatores, tais como a presença de água durante o período chuvoso, altas temperaturas no segundo semestre do ano, com média de 31,5° C segundo a empresa de meteorologia Climatempo, má qualidade do revestimento e a falta de manutenção das grades.

Mediante a análise do processo corrosivo nas grades, se faz necessário o uso de revestimentos na estrutura para que a mesma possa adquirir impermeabilidade e proteção sobre a corrosão. Desse modo, para que a camada protetora seja eficaz, é fundamental que o revestimento seja realizado de maneira adequada, como apresentado anteriormente no item 7.3 da pesquisa. Tal procedimento diminuiria a velocidade da corrosão, assim como, garantiria a proteção das grades, evitando o processo corrosivo. O revestimento deve ser realizado com a limpeza do material e aplicação do primer (tinta de fundo), seguido da tinta intermediária e de acabamento.

Figura 18 - Grades de proteção com corrosão uniforme



Fonte: Autor, 2024.

As grades de proteção foram instaladas em portas e janelas da escola com o objetivo de proteger e preservar o interior das salas de aulas. Na Figura 19, é notório o aparecimento da corrosão uniforme e por placas na grade fixa da janela, que possivelmente se desenvolveu devido a exposição a altas temperaturas e umidade durante os períodos de chuva, onde, conforme a empresa de meteorologia Climatempo, no primeiro semestre do ano a cidade de Rafael Fernandes/RN teve uma precipitação média de 86,8 mm. Somado a isso, essas grades estão instaladas a muito tempo e dificilmente passam por manutenção. Na junção das barras de ferros transversais na barra inferior horizontal ocorreu uma corrosão por placas, onde parte de material deteriorado quebrou-se e desfez do metal, caracterizando-se por um ataque mais intenso.

Figura 19 - Grade de proteção na janela



Fonte: Autor, 2024.

Na Figura 20 a corrosão se desenvolve de forma uniforme na grade que protege a porta, e com isso, ocasiona perda da espessura ao longo do tempo. Conforme Callister (2018), ocorre o processo de oxidação e redução de forma aleatória sobre a superfície. Nesse sentido, o meio é o principal fator causador desta patologia, a grade de proteção está no ambiente externo na sala e recebe impurezas, além de precipitações climáticas.

Figura 20 - Grade de proteção na porta de sala de aula



Fonte: Autor, 2024.

Mediante a essa forma de corrosão, uma solução seria o uso de revestimentos para proteger o metal do meio. Para que a proteção seja eficiente e mantenha-se por um período prolongado é imprescindível um revestimento bem aplicado. De acordo com Gentil (2011), um

procedimento crucial para garantir uma boa aplicação do revestimento é a limpeza da superfície metálica, uma vez que, a remoção de contaminantes como graxas e óleos proporcionam uma boa aderência aos revestimentos e garantem a durabilidade do revestimento.

7.2 PORTÕES

Nos portões da escola percebeu-se uma maior manifestação corrosiva, podendo ser identificados algumas formas de corrosão sobre a estrutura metálica. No portão de saída, mostrado na Figura 21, é perceptível a presença da corrosão em frestas em que ocasionou a danificação de uma camada protetora já existente com a formação de crostas na superfície, atacando diretamente o material. Além disso, é notório o acúmulo de sujeiras nas frestas, sendo um local propício à concentração de água, destacando-se como elementos principais que ocasionam a oxidação, pois são áreas com menor concentração de oxigênio. Callister (2018) afirma, ainda, que essa corrosão ocorre devido a variação de concentração dos íons ou dos gases presentes na concentração eletrolítica entre duas regiões da mesma peça metálica, onde a corrosão vai ocorrer na região de menor concentração.

Figura 21 - Corrosão em fresta na base do portão de saída



Fonte: Autor, 2024.

Na Figura 22, outra forma de corrosão presente no portão é a corrosão em torno do cordão de solda e a galvanizada, atacando a dobradiça de ferro do portão que está em contato com a grade metálica. Isso facilita o processo corrosivo, visto que há dois materiais diferentes em contato. Assim, é visível a presença da corrosão uniforme na área de rotação do portão, sendo agravada pelo esforço mecânico diário para abri-lo, gerando atrito na dobradiça e, conseqüentemente, o desgaste da peça. Segundo Gentil (2011), a corrosividade em torno do cordão de solda pode ocorrer devido a tratamentos térmicos inadequados, resultando em uma perda uniforme e redução de sua resistência mecânica.

Figura 22 - Corrosão em torno do cordão de solda na dobradiça do portão de saída



Fonte: Autor, 2024.

Desse modo, a presença desses processos corrosivos estão relacionados a condições atmosféricas variadas, onde o portão de saída, mostrado nas Figuras 21 e 22, está diretamente exposto a chuvas e raios solares, sendo fatores que contribuem para o surgimento de algumas formas de corrosão. Conforme Dutra e Nunes (2011), chuvas, poeiras e ventos são agentes que favorecem o aparecimento da corrosão, uma vez que proporcionam o acúmulo de água em frestas e poluentes sobre a estrutura metálica. Ademais, fatores como erros de fabricação, dificuldades na produção e montagem devido à falta de conhecimento ou mesmo negligência e ausência de manutenção são fatores cruciais para o aparecimento de patologias em estruturas metálicas.

Diante das manifestações corrosivas presentes no portão, há a necessidade de prevenção e proteção da estrutura metálica. Nas partes de dobradiças e soldas, recomenda-se aplicação de inibidores, uma vez que, sua aplicação age reduzindo ou impedindo a agressividade da corrosão. Conforme Callister (2018), alguns inibidores agem de forma a eliminar quimicamente uma espécie em atividade presente na solução, enquanto outras moléculas se fixam na superfície corroída e interferem na evolução da corrosão, formando um filme protetor fino. No portão como um todo, é necessário um revestimento orgânico para criar uma barreira entre o meio e o material atacado, desde que, sua aplicabilidade proporcione boa adesão à superfície e garanta boa durabilidade.

Na Figura 23 é visível a predominância da corrosão na base do portão de entrada, em que há a formação inicial de pequenos alvéolos após a danificação da parte revestida do metal. Nas condições em que o portão é exposto, um fator causador desse fenômeno é o contato direto com água e produtos químicos durante a limpeza diária do piso escolar devido a sua proximidade ao solo. Além disso, outro motivo que facilita a deterioração do material é o revestimento inadequado observado na Figura 23, uma vez que, percebe-se o escorrimento de tinta que gera a criação de bolhas e não permite boa aderência à superfície. Nesse sentido, a falta de manutenção em seu revestimento permite a aparência de brechas para exposição do metal ao meio corrosivo.

Figura 23 - Portão interno com fase inicial de corrosão alveolar



Fonte: Autor, 2024.

Dessa forma, a solução para os portões da escola é a utilização de revestimentos orgânicos, de modo que, sua aplicação satisfaça as instruções descritas anteriormente na pesquisa, no item 7.3. A importância do revestimento quanto a preservação da estrutura pode

ser observada comparando as Figuras 23 (portão interno com corrosão) e Figura 24 (portão de entrada revestido). Na Figura 24 é possível identificar um revestimento feito no portão de entrada, no terceiro mês (agosto) de acompanhamento, podendo ser observado uma proteção na parte metálica, assim como o prolongamento de sua vida útil.

Figura 24 - Portão de entrada após revestimento



Fonte: Autor, 2024.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante o estudo sobre a corrosão, o presente trabalho permitiu uma compreensão prática acerca dessa patologia, evidenciando que o processo corrosivo ocorre de maneira espontânea e está associado a deterioração dos metais presentes em nosso cotidiano.

Através das visitas realizadas foi possível acompanhar o processo corrosivo presente nas estruturas metálicas da Escola Estadual Bernardino Rodrigues, localizada no Sítio Gangorra, zona rural de Rafael Fernandes/RN. Além disso, os registros fotográficos contribuíram para a identificação dos principais tipos de corrosão como, química e eletroquímica, tal como, as formas de corrosão de maneira, uniforme, em frestas, por placas, galvânica, alveolar e em torno do cordão de solda, como também, seus agentes causadores.

Ao longo da pesquisa e identificação das formas de corrosão desenvolvidas nas grades de proteção fixas as portas e janelas, além dos portões de entrada, saída e interno, listou-se alguns agentes causadores dessa anomalia, destacando-se as ações intempéries, com a presença da umidade, acúmulo de água em tempos chuvosos, altas temperaturas em períodos secos, e a presença de produtos químicos na limpeza diária da escola. Assim como, esforços mecânicos por atrito e, na maioria dos casos, por falta de manutenção e limpeza da estrutura, deixando-as expostas a agressão corrosiva.

Dessa forma, considerando as formas de corrosão identificadas nas estruturas metálicas da pesquisa, com predominância da corrosão uniforme, se faz necessário adotar medidas eficazes de tratamento, a fim de mitigar os danos causados. Nas grades que cercam a escola, fixas as portas e janelas, assim como, os portões de entrada, saída e interno é preciso a aplicação de revestimentos orgânicos, no qual criam uma barreira entre o meio e a superfície. Somado a isso, nas áreas críticas de corrosão galvânica, em torno do cordão de solda, por placas e alveolar é recomendado a utilização de inibidores para retardar a corrosão. Outra prática importante, é o acompanhamento regular, manutenção periódica e limpeza das áreas que acumulam sujeiras. Tais medidas, contribuirão de forma significativa, na proteção das grades e portões, tal como, a longevidade dos equipamentos.

Para trabalhos futuros, recomenda-se um estudo extenso que possa acompanhar a evolução dessa manifestação corrosiva, no intuito de uma verificação precisa e detalhada sobre seus danos e tratamentos preventivos. É sugerido uma verificação microscópica óptica e confocal para melhor identificação da corrosão, além de realizar uma análise da taxa de penetração da corrosão (TPC) para determinar a taxa de corrosão. Assim, é recomendado ainda uma análise das características da região, como propriedades do solo e monitoramento das

condições ambientais. Essas estratégias visam amplificar a compreensão sobre a corrosão e sugerir soluções práticas para a manutenção e proteção das estruturas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. S. **Manifestações corrosivas em estação ferroviária na cidade de Sousa – Paraíba**. Orientadora: Sanderlir Silva Dias. 2023. 37 f. Monografia (Graduação) - Curso de Bacharelado Interdisciplinar Em Ciência E Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/4ed8391a-ecc3-41af-ae4d-602b4d71c651/content>. Acesso em: 01 ago. 2024.
- ARAUJO, A. J. L. **Corrosão em equipamentos de uma academia ao ar livre**. Orientadora: Josy Eliziane Torres Ramos. 2022. 69 f. TCC (Graduação) – Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/336658d0-1d40-45d5-b1d4-cd512d197803/content>. Acesso em: 20 ago. 2024.
- ARAUJO, C. R. **ESTUDO DO COMPORTAMENTO ANÓDICO DO AÇO INOXIDÁVEL ABNT 304 COM FILME DE INTERFERÊNCIA, EM NaCl 3,5% E FeCl₃.6H₂O 6% p/v**. 1999. 212 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999. Cap. 11. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8DPJUA/1/carlos_roberto_de_ara_jo.pdf. Acesso em: 14 out. 2024.
- CALLISTER, Willian D. Jr. e RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. 9ª ed. Rio de Janeiro. Ed. LTC, 2018.
- Climatologia e histórico de previsão do tempo em Rafael Fernandes, BR**. [sa]. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/6722/rafaelfernandes-rn>. Acesso em: 26 out. 2024.
- DUTRA, A. C.; NUNES, L. P. **Proteção catódica: técnica de combate a corrosão**. 5ª ed. Rio de Janeiro. Ed. Interciência, 2011.
- EMPARN - Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. **Relatório pluviométrico**. Disponível em: <https://meteorologia.emparn.rn.gov.br/relatorios/relatorios-pluviometricos>. Acesso em: 26 out. 2024.
- FELIPE, M. B. M. C.; MACIEL, M. A. M.; MEDEIROS, S. R. B.; SILVA, D. R. Aspectos Gerais Sobre Corrosão e Inibidores Vegetais. **Revista Virtual de Química**, Natal, v. 5, n. 4, p. 746-759, 28 ago. 2013.
- FRAUCHES-SANTOS, C. et al. **A corrosão e os agentes anticorrosivos**. Revista Virtual de Química, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p.293-309, abr. 2014. Disponível em: <https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/490/422>. Acesso em: 28 set. 2024.
- GASPARONI, A. G.; RODRIGUES, L. M. **Corrosão de estruturas metálicas em águas e sua proteção**. 1ª ed. Belém: RFB Editora, 2020.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e estados: Rafael Fernandes**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/rafael-fernandes.html>. Acesso em: 20 out. 2024.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P.I.C.; MAINER, F.B. **Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico**. Química Nova na Escola, n. 19, p. 11-14, 2004.

MAINIER, F. B.; LETA, F. R. **O ENSINO DE CORROSÃO E DE TÉCNICAS ANTICORROSIVAS COMPATÍVEIS COM O MEIO AMBIENTE**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 29, 2001, Rio de Janeiro. p. 5-11. Disponível em: <https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/18/trabalhos/EMA002.pdf>. Acesso em: 14 set. 2024.

NUNES, L. P. **Fundamentos de resistência à corrosão**. Rio de Janeiro. Ed. Interciência, 2007.

SIGEDUC – SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DA EDUCAÇÃO. **Relatório de estudantes da escola: Escola Estadual Bernardino Rodrigues**. Disponível em: <https://sigeduc.rn.gov.br/sigeduc/public/escolas/viewEscola.jsf>. Acesso em: 20 out. 2024.