



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - DECEN
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Manoel Teotonio Neto

**Análise da incidência de corrosão em componentes metálicos no sistema de
abastecimento de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de
Alexandria - RN**

PAU DOS FERROS – RN

2025

Manoel Teotonio Neto

**Análise da incidência de corrosão em componentes metálicos no sistema de
abastecimento de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de
Alexandria - RN**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Sanderlir Silva Dias, Profa. Dra.

PAU DOS FERROS – RN

2025

© Todos os direitos estão reservados a 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 tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

T314a Teotonio Neto, Manoel.
Análise da incidência de corrosão em
componentes metálicos no sistema de abastecimento
de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto
(SAAE) do município de Alexandria - RN / Manoel
Teotonio Neto. - 2025.
42 f. : il.

Orientadora: Sanderlir Silva Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2025.

1. Corrosão. 2. Tubulação metálica. 3.
Abastecimento de água. 4. Manutenção preventiva.
I. Dias, Sanderlir Silva, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em
conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo)
autor(a). Biblioteca Campus Pau dos Ferros
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.

Manoel Teotonio Neto

**Análise da incidência de corrosão em componentes metálicos no sistema de
abastecimento de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de
Alexandria - RN**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel
Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia.

Defendida em: 01 / 08 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Sanderlir Silva Dias, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

Josy Eliziane Torres Ramos, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

José Vidal Júnior, Esp. (Engenheiro Civil)
Membro Examinador

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, o maior orientador da minha vida. E aos meus pais, irmãos e avós, por serem minha fonte de força e coragem, por sempre estarem ao meu lado me apoiando ao longo dessa caminhada e por terem feito o possível para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que iluminou minhas ideias e concedeu a resiliência necessária para enfrentar todas as dificuldades ao longo dessa jornada. Sem Sua presença e apoio, nada disso teria sido possível.

Agradeço à minha orientadora, Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias, por toda dedicação, paciência e orientação durante essa jornada. Sou imensamente grato pelos ensinamentos transmitidos, pelo apoio em cada etapa deste trabalho. Suas valiosas contribuições foram indispensáveis para que eu pudesse alcançar este objetivo.

À minha mãe, Florismar da Costa, por todo amor e dedicação incansáveis. Por apoiar cada uma das minhas decisões, confiando no meu potencial e por me incentivar, fazendo o possível para eu conquistar meus objetivos.

Ao meu pai, Maurício Pereira, por ser exemplo de força e integridade, e por me ensinar, com seu esforço diário, a acreditar no meu potencial e a buscar sempre o melhor.

Agradeço aos meus irmãos, Fernando da Costa e Moisés Pereira, pelo apoio incondicional, pela companhia constante e por estarem sempre ao meu lado.

Agradeço aos meus avós, Floriano Bezerra e Alaides Raimunda, por todo carinho, apoio e por me ensinarem, com seu exemplo de vida, o verdadeiro significado de perseverança e fé.

Agradeço a todos da minha família que acreditaram com essa realização.

Aos meus colegas de curso pela amizade, e pelo apoio durante toda a caminhada acadêmica, por compartilharem desafios, pelo incentivo mútuo, pela troca de conhecimentos e pela colaboração que fortaleceram nosso aprendizado.

A todos os professores pelos ensinamentos, que contribuíram não apenas para minha formação acadêmica, mas também para meu crescimento pessoal. Cada conselho e orientação recebido foi essencial para a construção da minha trajetória.

Agradeço ao presidente do SAAE, Aroldo Braga, por sua atenção e apoio, e ao vice-presidente Francisco Marciano, por acompanhar de perto o processo de registro fotográfico, contribuindo de maneira significativa para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal Rural do Semi Árido (UFERSA) Campus Pau dos Ferros, por me proporcionar um ambiente de aprendizado, crescimento pessoal e profissional, por todo o suporte durante minha caminhada acadêmica e pelo título de Bacharel.

“Mergulhar no estudo e no conhecimento é como navegar por um oceano de possibilidades, onde cada descoberta nos leva a uma nova compreensão do mundo.”

Sergio Persi

RESUMO

A corrosão em tubulações metálicas é um dos principais desafios para a durabilidade e a segurança dos sistemas de abastecimento de água, pois provoca a deterioração gradual das superfícies metálicas, podendo gerar vazamentos, rupturas e comprometer a qualidade da água. Esse processo, causado pela interação dos materiais com a água e outros agentes agressivos do ambiente, também aumenta os custos de manutenção devido à necessidade de reparos frequentes e substituição de componentes danificados. Este trabalho analisou a ocorrência de corrosão nos componentes da estação de tratamento de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Alexandria-RN, identificando os principais fatores envolvidos no processo corrosivo e suas manifestações mais frequentes. Por meio de revisão bibliográfica, inspeção técnica no local e registros fotográficos, foi possível identificar formas de corrosão como uniforme, por placas e em torno de cordões de solda. Observou-se que os danos mais severos se encontravam em componentes já desativados e fora de operação, enquanto os elementos ainda em uso apresentavam corrosão em estágio inicial ou moderado. Esses resultados evidenciam a necessidade de adoção de medidas preventivas para prolongar a vida útil dos componentes ainda operacionais. Como recomendações, propõe-se a aplicação de revestimentos protetores, proteção catódica em trechos enterrados, implementação de um cronograma regular de manutenção preventiva, monitoramento da qualidade da água, educação e capacitação da equipe responsável pela manutenção, visando garantir a eficiência e a segurança do sistema de abastecimento de água.

Palavras-chave: corrosão; tubulação metálica; abastecimento de água; manutenção preventiva.

ABSTRACT

Corrosion in metal pipes is one of the main challenges to the durability and safety of water supply systems, as it causes the gradual deterioration of metal surfaces, potentially leading to leaks, ruptures, and compromising water quality. This process, caused by the interaction of materials with water and other aggressive environmental agents, also increases maintenance costs due to the need for frequent repairs and replacement of damaged components. This study aimed to analyze the occurrence of corrosion in the components of the water treatment plant of the Autonomous Water and Sewage Service (SAAE) in the municipality of Alexandria, Rio Grande do Norte, identifying the main factors involved in the corrosion process and its most frequent manifestations. Through literature review, on-site technical inspection, and photographic records, it was possible to identify forms of corrosion such as uniform corrosion, plate corrosion, and corrosion around weld seams. It was observed that the most severe damages were found in components that were already decommissioned and out of service, while elements still in use showed corrosion in an early or moderate stage. These results highlight the need for preventive measures to extend the life of components still in operation. Recommendations include the application of protective coatings, cathodic protection in buried sections, implementation of a regular preventive maintenance schedule, water quality monitoring, and education and training of maintenance personnel to ensure the efficiency and safety of the water supply system.

Keywords: corrosion; metal piping; water supply; preventive maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corrosão química	17
Figura 2 - Corrosão Eletroquímica	18
Figura 3 - Corrosão Eletrolítica	18
Figura 4 - Corrosão Uniforme	19
Figura 5 - Corrosão por Placas	20
Figura 6 - Corrosão por Pite	21
Figura 7 - Corrosão Intragranular	21
Figura 8 - Corrosão em torno do cordão de solda na tubulação	22
Figura 9 - Proteção catódica de uma tubulação subterrânea	27
Figura 10 - Triângulo da Corrosão	29
Figura 11 - Fluxograma do processo de pesquisa	31
Figura 12 - Mapas de localização do município em estudo.....	32
Figura 13 - Localização da estação de tratamento de água	32
Figura 14 - Representação do triângulo da corrosão com base nas condições identificadas	33
Figura 15 – Componentes com corrosão uniforme: (A) válvula de pé com crivo; (B) trecho de tubulação de ferro fundido; (C) boia de ferro	34
Figura 16 – Corrosão uniforme: (A) registro de gaveta; (B) joelho metálico de 90°; (C) amostra de tubo	35
Figura 17 - Componente com corrosão uniforme: (A) joelho metálico de 90°; (B) caixa de registro	36
Figura 18 - Corrosão por placas em caixa de registro	37
Figura 19 - Corrosão em torno de cordão de solda em tubulação	38
Figura 20 - Corrosão diferencial em tubulação parcialmente enterrada	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivo específicos	14
3. JUSTIFICATIVA	15
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
4.1 Corrosão	16
4.2 Tipos de corrosão.....	16
4.2.1 Corrosão Química.....	17
4.2.2 Corrosão Eletroquímica.....	17
4.2.3 Corrosão Eletrolítica.....	18
4.3 Forma de corrosão.....	19
4.3.1 Corrosão Uniforme	19
4.3.2 Corrosão por Placas	20
4.3.3 Corrosão Puntiformes ou por Pite	20
4.3.4 Corrosão Intergranular.....	21
4.3.5 Corrosão em torno de Cordão de Solda.....	22
4.4 Meio corrosivos	22
4.4.1 Águas naturais	23
4.4.2 Atmosfera	24
4.4.3 Solo.....	24
4.5 Técnicas para inibição de corrosão	25
4.5.1 Inibidores	26
4.5.2 Proteção Catódicas	26
4.5.3 Proteção Anódica.....	27
4.5.4 Revestimento	27
4.6 Triângulo da corrosão	28
5 METODOLOGIA.....	30
5.1 Etapas da pesquisa	30
5.2 Fluxograma de pesquisa.....	31
5.3 Local da pesquisa.....	31
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33

6.1 Manifestações da corrosão nos componentes metálicos do SAAE de Alexandria-RN	
.....	33
6.2 Fatores contribuintes para a corrosão no sistema	38
6.3 Análise comparativa e estágio da corrosão	40
6.4 Implicações dos resultados e recomendações	40
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

As tubulações metálicas desempenham um papel essencial na infraestrutura de abastecimento de água. Sua durabilidade e resistência à alta pressão garantem o transporte seguro da água ao longo de grandes distâncias, minimizando vazamentos e perdas. A durabilidade desses materiais contribui para uma vida útil mais longa da infraestrutura, reduzindo a necessidade de reparos frequentes. Contudo, devido à exposição constante a agentes agressivos como água, oxigênio e sais dissolvidos, essas tubulações são suscetíveis ao processo de corrosão, que pode causar vazamentos, rupturas e contaminação do recurso transportado.

A corrosão em tubulações metálicas é influenciada por diversos fatores, sejam físico-químicos ou operacionais. Entre os mais críticos estão o meio em que a tubulação está inserida, a ausência de revestimentos ou camadas protetoras, que deixam o material diretamente exposto ao ataque corrosivo. De acordo com Gentil (2022), essas variáveis podem acelerar o desgaste das superfícies metálicas, resultando na perda de eficiência do sistema e aumentando significativamente os custos com reparos e substituições. Ademais, a interação dessas variáveis pode intensificar os efeitos ao longo do tempo, agravando os danos causados. A adoção de materiais inadequados ou a ausência de manutenções periódicas intensifica ainda mais o processo corrosivo, colocando em risco a qualidade do serviço prestado.

O monitoramento e a prevenção da corrosão são indispensáveis para prolongar a vida útil dos componentes e garantir a continuidade do abastecimento. Tolentino (2015) destaca que estratégias como o uso de revestimentos protetores, tratamentos químicos na água e inspeções regulares são fundamentais para minimizar os danos. Além disso, a implementação de novas tecnologias pode potencializar esses métodos, oferecendo soluções mais eficientes e duradouras. A manutenção preventiva evita que problemas menores evoluam para falhas críticas, preservando tanto a integridade do sistema quanto a saúde da população abastecida.

O presente trabalho tem como objetivo a análise do processo de corrosão nos componentes metálicos da estação de tratamento de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Alexandria-RN. O estudo busca identificar os fatores que promovem a corrosão nesse sistema e propor soluções práticas para mitigação e prevenção, contribuindo para maior eficiência e segurança no abastecimento de água do município.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar os possíveis tipos de corrosão manifestados nos componentes metálicos da estação de tratamento de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) da cidade de Alexandria-RN, identificando os fatores que promovem essa patologia e propondo soluções práticas para mitigação e prevenção. Essa abordagem envolve a realização de pesquisa bibliográfica e análise no local, visando compreender as razões subjacentes e buscar soluções para resolver o problema identificado de maneira eficiente.

2.2 Objetivo específicos

- Compreender o processo corrosivo;
- Realizar uma visita, para registrar fotografias do local abordado para estudo;
- Investigar qual o mecanismo da corrosão nos componentes a ser estudado;
- Definir o triângulo de corrosão, identificar o material, meio corrosivo e as condições operacionais;
- Analisar as práticas atuais de manutenção e prevenção da corrosão adotadas pela estação de tratamento de água;
- Apresentar soluções de prevenção e técnicas de proteção.

3. JUSTIFICATIVA

A corrosão em tubulações metálicas representa um desafio significativo para a eficiência e segurança dos sistemas de abastecimento de água. Problemas decorrentes desse processo, como vazamentos, rupturas e contaminação da água, podem comprometer a qualidade do serviço e gerar elevados custos com reparos e substituições. Além disso, a falta de manutenção adequada pode agravar esses impactos, reduzindo a vida útil dos componentes e colocando em risco a infraestrutura.

No contexto da estação de tratamento de água do SAAE de Alexandria-RN, é de extrema importância investigar e compreender os fatores que aceleram a corrosão e avaliar as condições operacionais que contribuem para o desgaste dos componentes metálicos. Esse estudo é especialmente relevante para evitar interrupções no abastecimento de água e assegurar a qualidade do recurso transportado, atendendo às necessidades da população usuária.

Diante disso, o presente trabalho se justifica pela importância de propor soluções práticas e técnicas de prevenção que permitam prolongar a vida útil das peças metálicas e otimizar a gestão do sistema de abastecimento. A análise das condições atuais e das práticas de manutenção existentes permitirá não apenas identificar possíveis falhas, mas também sugerir melhorias capazes de garantir maior eficiência, sustentabilidade e segurança no fornecimento de água no município de Alexandria-RN.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Corrosão

Como afirma Gentil (2022), “no seu sentido mais amplo, pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos”. O processo corrosivo pode ser percebido de maneira bastante frequente, pois cotidianamente é possível encontra-lo em materiais que apresentam deterioração, variações químicas ou modificações em sua própria estrutura.

Segundo Tsutiya (2006), em determinados casos pode-se considerar o processo corrosivo como o inverso da metalurgia, em que, partindo da extração do material pelo minério, este retorna para natureza em condições semelhantes ao minério que foi extraído, sendo considerado um ciclo metálico.

Embora comumente relacionado à oxidação dos metais, a corrosão pode ocorrer nos mais diversos materiais, incluindo borracha, polímeros, madeiras e até o concreto. As principais consequências notadas, na corrosão desses materiais, é a redução ou perda de suas propriedades de resistência, como elasticidade, tenacidade, resistência à impactos, entre outras. A ocorrência da corrosão se dá através de processos físicos, devido ao desgaste mecânico, químicos ou eletroquímicos.

Segundo Oliveira (2012) “Quando falamos em processo de corrosão, estamos falando de reações químicas heterogêneas ou de reações eletroquímicas que normalmente ocorrem na interface ou superfície de separação entre o metal e o meio corrosivo”.

Gentil (2022) diz que sendo a corrosão um processo geralmente espontâneo, ela altera constantemente os materiais metálicos modificando a durabilidade e comprometendo o desempenho e os fins a que se destinam. Ainda de acordo com Oliveira (2012) a corrosão é uma forma de degradação do metal, nessa etapa o primeiro passo é descobrir e investigar os tipos e formas de corrosão, esse conhecimento das características das várias formas de corrosão nos ajuda na identificação das técnicas necessárias a proteção do metal que está sofrendo corrosão.

4.2 Tipos de corrosão

A corrosão pode ocorrer por diferentes mecanismos, sendo os mais comuns os processos químicos, eletroquímicos e eletrolíticos. Cada tipo envolve uma forma distinta de interação entre o material e o ambiente ao qual está exposto.

4.2.1 Corrosão Química

A corrosão química, ou conhecida também como corrosão seca, ocorre sem a presença de água e consiste no ataque direto de um agente químico ao material, sem envolver a transferência de elétrons entre diferentes regiões do mesmo (Merçon et al, 2004). Esse tipo de processo ocorre quando há uma reação química entre o ambiente corrosivo e o material que está em contato com ele, resultando na formação de uma camada de produto de corrosão sobre a superfície do material atacado (Frauches Santos et al, 2014). A Figura 1 apresenta exemplo de como a corrosão química se manifesta.

Figura 1 - Corrosão química.



Fonte: Merçon et al (2004)

4.2.2 Corrosão Eletroquímica

De acordo com Gentil (2022), na corrosão eletroquímica, a reação é resultado da transferência de elétrons entre um elemento químico de um material e outro elemento ou composto, presente no meio em que a estrutura está inserida. O processo geralmente ocorre através da interação entre um metal e uma solução iônica, formando uma pilha de corrosão, ou por meio do contato entre dois metais, onde forma-se uma pilha galvânica. Nesses casos, o oxigênio atua como um acelerador do processo eletroquímico de corrosão, intensificando a ação destrutiva, embora ocorra de maneira natural e espontânea.

No entanto, é passível de ocorrer quando o metal ou liga está em contato com um eletrólito, onde ocorrem, simultaneamente, as reações anódicas (oxidação) e catódicas (redução), causando assim, como resultado final, a deterioração do metal.

A intensidade do processo de corrosão é determinada pela quantidade de cargas de íons que se descarregam no catodo, ou então, pelo número de elétrons que se movem do anodo para o catodo, de acordo com os mecanismos exibido na Figura 2 (Frauches Santos et al, 2014).

Figura 2 - Corrosão Eletroquímica.

Meio ácido	Meio básico ou neutro não aerado	Meio básico ou neutro aerado
$\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ $2\text{H}^+ \longrightarrow \text{H}_2$	$\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	$\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ $\text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{OH}^-$

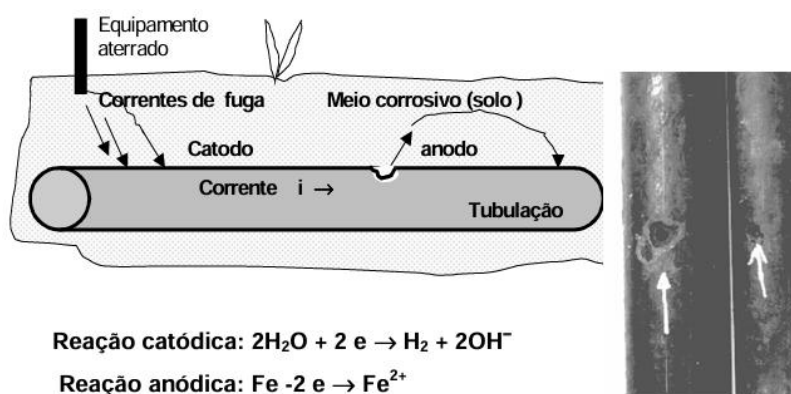
Fonte: Frauches Santos et al (2014)

4.2.3 Corrosão Eletrolítica

A corrosão eletrolítica é um tipo de processo eletroquímico que acontece com a interferência de uma corrente elétrica externa. No entanto isto que indica que não se trata de um fenômeno espontâneo de corrosão. Ela é originada por correntes de fuga, também conhecidas como parasitas ou estranhas. Essa manifestação é bastante comum em estruturas enterradas ou subterrâneas, como gasodutos, oleodutos, adutoras de água potável, em cabos telefônicos enterrados, em tanques subterrâneos de postos de combustíveis, etc. Normalmente, essas correntes surgem devido a falhas no isolamento elétrico ou em sistemas de aterramento que não seguem as especificações técnicas adequadas (Mainier et al, 2001).

Geralmente, ocorrem furos pontuais nas instalações. É por esses pontos que a corrente escapa para o solo, conforme apresenta o mecanismo na Figura 3.

Figura 3 - Corrosão Eletrolítica.



Fonte: Mainier et al (2001)

4.3 Forma de corrosão

A corrosão pode se manifestar de diversas formas, dependendo das condições ambientais, do tipo de material e dos agentes agressivos envolvidos. Essas formas são classificadas com base na aparência visual no maior número de vezes, na localização ou no mecanismo de ataque. Cada uma das manifestações apresenta características distintas que influenciam a gravidade e o impacto sobre o material afetado. Dessa forma, estão as principais formas de corrosão, uniforme, por placas, puntiforme (ou por pite), intergranular e em torno do cordão de solda.

4.3.1 Corrosão Uniforme

Segundo Callister (2012), corrosão uniforme é uma forma de corrosão eletroquímica que ocorre com intensidade equivalente ao longo de toda a superfície que está exposta e, com frequência, gera uma incrustação ou um depósito, ocorrendo uma perda de massa uniforme por todo o material em exposição.

Pode ser considerado um dos tipos mais comuns e de fácil controle. Sua ação é relevante do ponto de vista de desgaste, pois a redução da espessura do material causa a diminuição de sua resistência a esforços, podendo levar a rupturas. A Figura 4 demonstra esse tipo de deterioração.

Figura 4 - Corrosão Uniforme.



Fonte: Gentil (2022)

4.3.2 Corrosão por Placas

Conforme Gentil (2022), a corrosão pode ocorrer de maneira localizada em áreas específicas da superfície metálica, resultando na formação de placas com cavidades, em vez de afetar toda a extensão do material.

Ocorre geralmente em metais que, inicialmente, desenvolvem uma película protetora de oxidação, mas que, ao crescer e espessar, perde aderência e se desprende. Esse desprendimento expõe continuamente novas superfícies metálicas ao meio agressivo, gerando sucessivas camadas corroídas, como mostra na Figura 5.

Figura 5 - Corrosão por Placas.

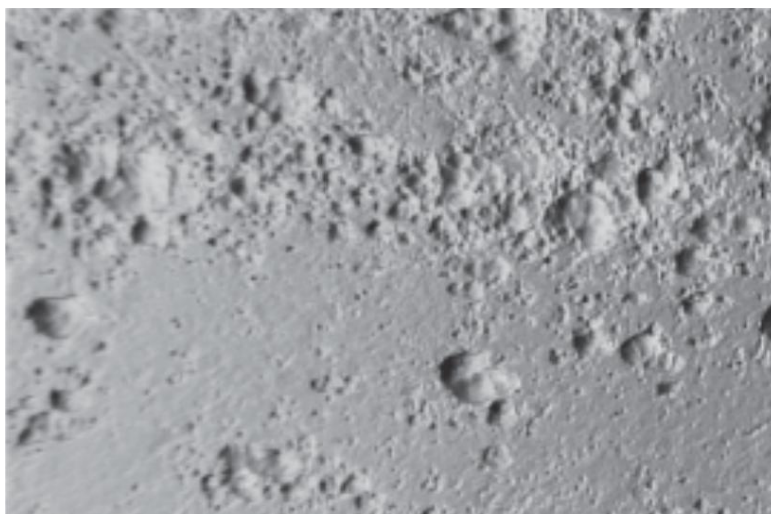


Fonte: Gentil (2022)

4.3.3 Corrosão Puntiformes ou por Pite

A corrosão puntiforme, também frequentemente referida como corrosão por pites, ocorre em pontos específicos ou em pequenas áreas da superfície metálica, resultando na formação de cavidades que geralmente têm uma profundidade superior ao seu diâmetro. Embora a área total corroída seja pequena, a profundidade dos pites pode comprometer rapidamente a resistência mecânica e levar a perfurações conforme a Figura 6 (Gentil, 2022).

Figura 6 - Corrosão por Pite.

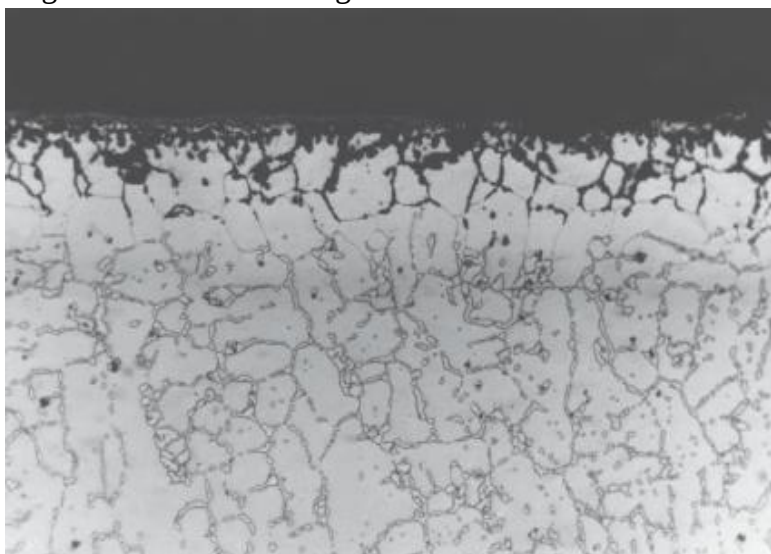


Fonte: Gentil (2022)

4.3.4 Corrosão Intergranular

A corrosão intergranular acontece nas interfaces entre os grãos ou cristais da estrutura cristalina do metal, sendo marcada pela diminuição das propriedades mecânicas do material. Isso pode levar à fratura do metal quando submetido a esforços mecânicos. Assim, quando essa fratura ocorre, a corrosão é referida como corrosão sob tensão fraturante (Oliveira, 2012). Esse tipo de corrosão é retratado na Figura 7.

Figura 7 - Corrosão Intragranular.



Fonte: Gentil (2022)

4.3.5 Corrosão em torno de Cordão de Solda

Para Arruda (2009), após a realização da solda em um material, a corrosão tende a se desenvolver nas áreas ao redor da solda, e não diretamente sobre ela. Isso ocorre devido à formação de regiões onde os elétrons ficam sob tensão em decorrência do processo de soldagem. Essa corrosão geralmente se manifesta a poucos milímetros do ponto de solda e é mais frequente em aços inoxidáveis não estabilizados ou com teores de carbono inferiores a 0,03%. O fenômeno acontece de maneira intergranular conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Corrosão em torno do cordão de solda na tubulação.



Fonte: Carvalho et al (2016)

4.4 Meio corrosivos

O ambiente no qual os materiais estão expostos, que exerce influência direta sobre velocidade e a intensidade do processo corrosivo do mesmo. Segundo Gentil (2022), a natureza do meio corrosivo é um aspecto considerável para o comportamento dos materiais, uma vez que as reações responsáveis pela corrosão dependem das características físicas e químicas do ambiente, que se encontra na proximidade da superfície metálica.

No entanto, os meios corrosivos podem ser identificados de acordo com sua composição e agressividade, sendo uns dos mais comuns as águas naturais, a atmosfera e o solo. Cada um desses ambientes apresentado, influenciam diretamente na taxa de deterioração dos materiais

metálicos. Com isso, se torna fundamental a compreensão de suas características para o desenvolvimento de estratégias, dispondo proteção adequadas.

4.4.1 Águas naturais

Materiais metálicos em contato com água, estão sempre sujeito aos processos corrosivos, logo a sua intensidade depende diretamente das substâncias contaminantes que estão inserido no meio aquoso. Segundo Gentil (2011), os fatores contaminantes mais frequentes, incluem gases dissolvidos: sendo oxigênio, dióxido de carbono e gás sulfídrico, além de sais dissolvidos, matéria orgânica, microrganismos e sólidos em suspensão, contribuindo para desgaste do material.

No estudo da avaliação das águas naturais, devem ser considerados parâmetros como pH, temperatura, velocidade de escoamento e ação mecânica, que interagem de forma complexa determinando o comportamento corrosivo do meio (Gentil, 2011). A diversidade de usos da água exige que se considerem aspectos específicos de acordo com cada finalidade, a fim de garantir o bom desempenho e a durabilidade dos sistemas envolvidos.

4.4.1.1 Água potável

De acordo com Richter (2009) a água utilizada para o consumo humano percorre por diferentes etapas de tratamento, entre os principais processos inclui a adição de coagulantes, desinfetantes e produtos para correção do pH e, assim sendo, fatores que estão inteiramente ligados ao intuito de melhorar a qualidade da mesma. Apesar de que esses procedimentos sendo essenciais para garantir a potabilidade, eles acabam alterando as características física e química da água, influenciando diretamente no seu potencial corrosivo nos sistemas de tubulações para distribuição (Gentil, 2011).

Dessa forma, dentre os agentes utilizados, destaca-se o cloro residual, indispensável para manter a qualidade microbiológica da água, e como consequência atua também como um forte agente oxidante, sendo assim capaz de acelerar processos de corrosão nos materiais metálicos envolvidos no uso (Gentil, 2011).

4.4.2 Atmosfera

Conforme Gemelli (2024), a corrosão atmosférica surge quando materiais suscetíveis a esse tipo de deterioração são submetidos a condições de atmosfera corrosiva. Este fenômeno não está limitado exclusivamente a materiais em exposição direta ao ambiente externo, mas também se manifesta em estruturas localizadas em espaços internos, cobertos ou confinados, mesmo quando estes oferecem proteção para intempéries.

Tendo em vista que às condições mais críticas para materiais metálicos ocorrem quando há desenvolvimento de eletrólito corrosivo em sua superfície, é importante compreender que tal formação pode manifestar-se tanto em pontos específicos quanto em toda a área exposta do material. Portanto, as características ambientais do local onde o material se encontra é que definem o nível de agressividade do meio corrosivo. Dessa forma, o potencial corrosivo da atmosfera ou do eletrólito que se desenvolve sobre a superfície do material, está diretamente relacionado tanto às propriedades do próprio material quanto às condições climáticas e atmosféricas predominantes no ambiente de exposição (Gemelli, 2024).

Como destaca Gentil (2022, p.71), a corrosão atmosférica é classificada em função do grau de umidade na superfície metálica, em seca, úmida e molhada.

A **corrosão atmosférica seca** ocorre em atmosfera isenta de umidade, sem qualquer presença de película de eletrólito na superfície metálica. Tem-se uma lenta oxidação do metal com formação do produto de corrosão, podendo o mecanismo ser considerado puramente químico: caso do tarnishing, escurecimento de prata ou de cobre por formação de Ag_2S e CuS , respectivamente, devido à presença de gás sulfídrico, H_2S , na atmosfera ou meio ambiente.

A **corrosão atmosférica úmida** ocorre em atmosferas com umidade relativa menor que 100 %. Tem-se um fino filme de eletrólito, depositado na superfície metálica, e a velocidade do processo corrosivo depende da umidade relativa, poluentes atmosféricos e higroscopicidade dos produtos de corrosão.

Na **corrosão atmosférica molhada**, a umidade relativa está perto de 100 % e ocorre condensação na superfície metálica, observando-se que a superfície fica molhada com o eletrólito, por exemplo, chuva e névoa salina, condensada, depositadas na superfície metálica (Gentil, 2022, p.71).

4.4.3 Solo

O solo como meio corrosivo, possui características específicas que nem sempre são facilmente percebidas. Quando uma estrutura metálica é enterrada, ela se torna vulnerável a diversos fatores que podem acelerar sua degradação. De acordo com Gentil (2022), aspectos

como a capacidade do solo de conduzir eletricidade, seu nível de acidez, a quantidade de água e o tipo de textura são fundamentais para avaliar o quão agressivo esse meio pode ser.

Devido à sua variável composição, o solo representa um ambiente particularmente complexo para a análise da corrosividade. Como afirma Gentil (2022, p. 80)

O solo pode ser considerado como um dos meios corrosivos mais complexos para se determinar previamente sua ação agressiva para os materiais metálicos. Essa complexidade fica logo evidenciada na coleta de amostras de solos para análises químicas, físico-químicas ou microbiológicas. Durante a retirada de amostras, alguns fatores podem sofrer alterações, que certamente influirão nas suas condições físicas, ocasionando determinações de parâmetros analíticos que não representam exatamente os valores existentes no solo. Como exemplo, podem-se citar: aeração, umidade, pH, potencial de oxirredução e presença de microrganismos.

Um fator de grande relevância refere-se às condições climáticas, que podem alterar significativamente algumas propriedades do solo. Em períodos chuvosos, a umidade promove diminuição da resistividade do solo em relação a períodos mais secos. Esse fato é relevante ao se fazer levantamento de campo para aplicação de técnicas anticorrosivas em tubulações que percorrem solos com diferentes características, sendo indicado coletar amostras ao longo de toda a sua extensão (Gentil, 2022, p. 80).

4.5 Técnicas para inibição de corrosão

A inibição de corrosão são processo que utiliza substâncias químicas que têm a função de retardar e prevenir o avanço da corrosão, oferecendo proteção ao material. Embora não haja uma garantia de que esses produtos consigam interromper completamente o processo corrosivo, eles podem reduzir a taxa de aparecimento de corrosões e até mesmo interromper a corrosão em estágios iniciais, o que justifica sua recomendação para uso (Inbec, 2019).

Substâncias com essas características têm se mostrado eficazes como uma das principais abordagens para a proteção contra a corrosão. Além disso, diversas indústrias têm incentivado pesquisas voltadas para a exploração de novos compostos com essa finalidade (Gentil, 2022).

É possível que a maneira comum e eficaz de prevenir inibindo a corrosão é escolher cuidadosamente os materiais, levando em consideração as características do ambiente corrosivo. As especificações padrão sobre corrosão pode ser bastante úteis nesse processo. No entanto, o custo pode ser um aspecto importante a ser considerado, pois nem sempre é viável financeiramente utilizar o material que oferece a melhor resistência à corrosão; em algumas situações, pode ser necessário optar por uma liga diferente ou adotar outras medidas (Callister, 2012).

4.5.1 Inibidores

“Os inibidores são substâncias que, quando adicionadas ao ambiente em concentrações relativamente baixas, diminuem sua corrosividade. Obviamente, um inibidor específico depende tanto da liga quanto do ambiente corrosivo” (Callister, 2012, p. 597).

A eficácia desses inibidores pode ser atribuída a diversos mecanismos; alguns deles reagem e praticamente eliminam espécies quimicamente ativas, como o oxigênio dissolvido, enquanto outros se aderem à superfície corroída, interferindo nas reações de oxidação ou redução, ou ainda formando um revestimento protetor muito fino (Callister, 2012).

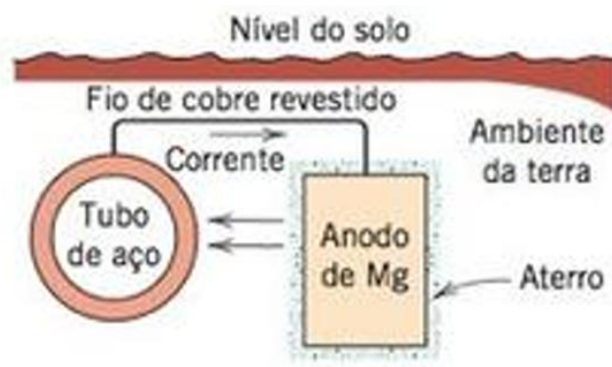
4.5.2 Proteção Catódicas

É um dos procedimentos de controle da corrosão no qual envolve a conversão da estrutura a ser protegida em um cátodo de uma célula eletroquímica ou eletrolítica. A proteção catódica é aplicada principalmente em estruturas que estão enterradas ou submersas, pois não é viável em estruturas expostas ao ar, devido à necessidade de um eletrólito contínuo, que não pode ser mantido na atmosfera (Dutra; Nunes, 2011).

“A proteção catódica envolve simplesmente o suprimento, a partir de uma fonte externa, de elétrons para o metal a ser protegido, tornando-o um catodo; a reação anterior é, dessa forma, forçada a prosseguir na direção inversa (ou de redução)” (Callister, 2012, p. 598).

Outra abordagem para a proteção catódica utiliza um par galvânico, onde o metal a ser protegido é conectado eletricamente a um metal mais reativo. Esse metal reativo sofre oxidação e, ao liberar elétrons, protege o metal principal contra a corrosão. O metal que se oxida é chamado de ânodo de sacrifício, sendo magnésio e zinco os materiais mais utilizados, pois estão posicionados na extremidade anódica da série galvânica (Callister, 2012). A Figura 9 demonstra como é realizado esse processo.

Figura 9 - Proteção catódica de uma tubulação subterrânea.



Fonte: Callister (2012)

4.5.3 Proteção Anódica

De acordo com Gentil (2022), a proteção anódica consiste em uma técnica que utiliza a aplicação de corrente anódica externa para criar uma película protetora em materiais metálicos, nos quais a superfície a ser tratada funciona como ânodo em uma célula eletrolítica, revestida por um óxido gerado pela oxidação de um metal ou elemento de liga do material, visando aumentar a resistência da superfície à corrosão.

A proteção anódica atua evitando a dissolução do filme protetor, se houver alguma falha, esse filme é rapidamente restaurado por meio da formação de um novo. Para que a passivação anódica seja eficaz como método de proteção, é fundamental garantir que o potencial passivo seja estabelecido e mantido em toda a superfície do material metálico que está em contato com o meio corrosivo. Isso demanda o uso de dispositivos que possam fornecer a corrente necessária para manter o metal dentro da faixa do potencial de passivação (Gentil, 2022).

Conforme Gentil (2022), ao comparar as proteções anódica e catódica, nota-se que a proteção anódica é restrita a metais ou ligas que exibem a transição ativo/passivo em um determinado meio, como ferro, níquel, cromo, titânio e suas ligas. Em contrapartida, essa técnica não é adequada para metais como zinco, magnésio, cádmio, prata, cobre e ligas de cobre. Por outro lado, a proteção catódica pode ser utilizado em todos os materiais metálicos.

4.5.4 Revestimento

De acordo com Gentil (2022), a utilização de revestimentos é uma das técnicas mais amplamente adotadas para inibir a corrosão. Essa abordagem consiste em criar uma barreira

física entre o metal e o meio agressivo, o que impede o contato direto, e consequentemente, a ocorrência das reações eletroquímicas que caracterizam o processo corrosivo.

Logo existem diversas categorias de revestimentos protetores, que geralmente são classificadas em dois grandes grupos: revestimentos metálicos e revestimentos não metálicos (Mariano, 2008).

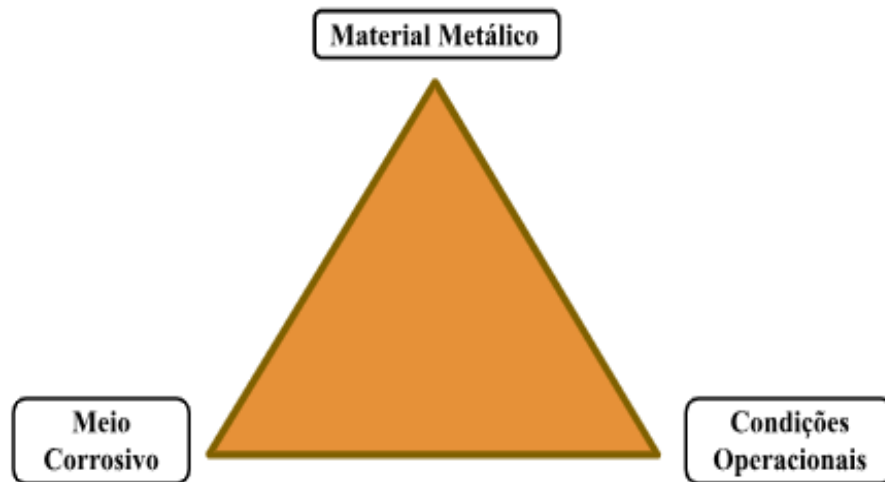
Os revestimentos metálicos têm diversas finalidades, conforme destacado por Gentil (2022). Entre as principais, estão a proteção decorativa, a resistência ao atrito, a proteção contra oxidação em contatos elétricos, o endurecimento superficial e a resistência à corrosão. Além disso, esses revestimentos podem ser utilizados na recuperação de peças desgastadas, demonstrando sua versatilidade e importância na preservação e melhoria das propriedades dos materiais metálicos.

Entretanto, os revestimentos não metálicos orgânicos, especialmente por meio da aplicação de tintas, são amplamente os mais utilizados com uma das principais técnicas de proteção anticorrosiva. Essa escolha se deve a várias características vantajosas, como a facilidade de aplicação e manutenção, além de uma relação custo-benefício atrativa. Esses revestimentos não apenas protegem as superfícies contra a corrosão, mas também oferecem benefícios adicionais, como a melhoria estética do ambiente e a sinalização de fluidos em tubulações, tornando-os uma opção versátil e eficaz na prevenção de danos em materiais metálicos (Gentil, 2022).

4.6 Triângulo da corrosão

No que diz respeito aos mecanismos básicos do processo corrosivo, é essencial considerar diversos fatores que influenciam sua ocorrência. Algumas variáveis dependentes de exigência para uma análise detalhada, pois podem contribuir significativamente para a compreensão detalhada e prevenção da corrosão (Gentil, 2022). Consequentemente, o triângulo da corrosão é composto por três elementos fundamentais, os quais são: o material metálico, o meio corrosivo e as condições operacionais. Deste modo, esses processos do triângulo corrosivo podem ser observados no esquema da Figura 10.

Figura 10 - Triângulo da Corrosão.



Fonte: Autoria própria (2025)

Gentil (2022, pag. 65) define essas três variáveis do triângulo, ilustrada na Figura 10, da seguinte forma:

material metálico: composição química, presença de impurezas, processo de obtenção, tratamentos térmicos e mecânicos, estado da superfície, forma, união de materiais (solda, rebites etc.), contato com outros metais;
meio corrosivo: composição química, concentração, impurezas, pH, temperatura, teor de oxigênio, pressão, sólidos suspensos;
condições operacionais: solicitações mecânicas, movimento relativo entre material metálico e meio, condições de imersão no meio (total ou parcial), meios de proteção contra a corrosão, operação contínua ou intermitente (Gentil, 2022, pag. 65).

5 METODOLOGIA

5.1 Etapas da pesquisa

O trabalho se configura como uma pesquisa qualitativa, não visando quantificar ou medir os eventos analisados, nem utiliza métodos estatísticos na interpretação dos dados. Ela parte para coleta de dados descritivos, por meio do contato direto do pesquisador com a situação de verificação, buscando compreender os fenômenos (Godoy, 1995).

Para Gil (2002), a pesquisa descritiva tem como principal objetivo a descrição das características de uma população ou fenômeno específico, bem como o estabelecimento de relações entre variáveis etapas da pesquisa, que é produzido através de conteúdos de materiais já desenvolvido, elaborado especialmente de livros e artigos científicos.

Este estudo foi conduzido por meio de um estudo de caso, apoiado em pesquisa bibliográfica, visitas técnicas, observação direta e registros fotográficos. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa aprofundada sobre o tema corrosão, com foco em compreender os mecanismos, causas, consequências e métodos de mitigação, utilizando como base autores clássicos e recentes para embasar teoricamente a análise do caso.

Em seguida, para a realização do estudo, foram necessárias duas visitas presenciais ao SAAE de Alexandria-RN. A primeira ocorreu em 28 de janeiro de 2025, no escritório da administração, com o objetivo de dialogar com os responsáveis, solicitar a autorização para a execução das inspeções e alinhar os procedimentos a serem adotados. A segunda visita, após autorização, foi realizada em 24 de junho de 2025, já na estação de tratamento de água, onde foi possível inspecionar os componentes metálicos e registrar fotograficamente suas condições, permitindo a análise detalhada do estado de conservação e das manifestações de corrosão.

Durante a inspeção na estação, foi realizada uma análise minuciosa das tubulações e componentes metálicos, considerando tanto os elementos em funcionamento quanto os materiais desativados e armazenados no depósito. Essa escolha permitiu visualizar as condições dos componentes ativos com os fora de operação, e avaliar como o tempo e a falta de manutenção impactaram cada um. Os pontos de inspeção foram definidos pela acessibilidade e pelo estado de uso dos componentes.

Os registros fotográficos foram empregados como evidência documental para ilustrar de forma clara as manifestações de corrosão identificadas durante a inspeção. A análise foi conduzida predominantemente com base na observação visual direta e no material fotográfico

obtido, sendo complementada por uma revisão bibliográfica que forneceu embasamento teórico para a interpretação dos danos observados.

Por fim, com base nas observações realizadas e nos dados obtidos, foi elaborada uma descrição detalhada dos danos identificados, relacionando-os com as condições operacionais e ambientais do sistema. Com base nas referências bibliográficas, serão buscadas sugestões de medidas preventivas e corretivas para prolongar a vida útil das peças metálicas e garantir a eficiência do abastecimento.

5.2 Fluxograma de pesquisa

Conforme ilustrado na Figura 11, o esquema apresenta a sequência de etapas pelas quais a pesquisa foi desenvolvida.

Figura 11 - Fluxograma do processo de pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2025)

5.3 Local da pesquisa

Alexandria é um município que se localiza no estado do Rio Grande do Norte, Brasil, distante à 383 quilômetros da capital do estado, Natal. Possui uma população estimada de aproximadamente 13 640 habitantes, segundo censo comum do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2022, com uma área territorial de 381,205 quilômetros quadrado. A Figura 12 demonstra mapas da localização geográfica do município.

Figura 12 – Mapas de localização do município em estudo.



Fonte: Henriques (2020)

A área da pesquisa está localizada na Av. Deputado Patrício Neto, no Sítio Pulgas como mostra a Figura 13:

Figura 13 - Localização da estação de tratamento de água.



Fonte: Google Earth (2025)

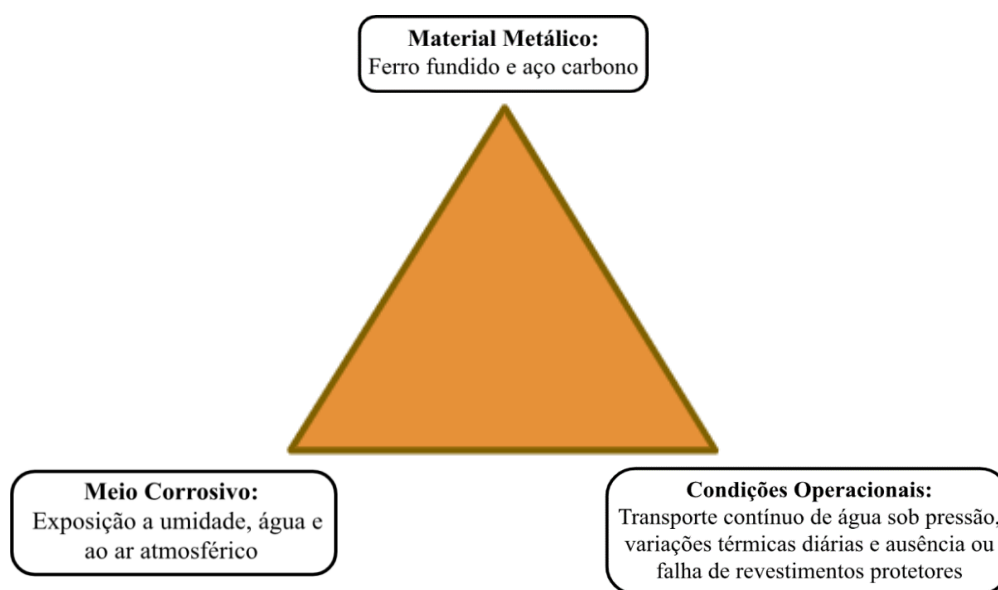
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Manifestações da corrosão nos componentes metálicos do SAAE de Alexandria-RN

Durante as visitas técnicas às instalações do SAAE de Alexandria-RN, foi possível observar e registrar fotograficamente diversas manifestações de corrosão nos componentes metálicos que compõem o sistema de abastecimento de água. A análise visual revelou que o processo corrosivo se apresenta em diferentes formas e estágios, impactando tanto a estética quanto a integridade estrutural dos componentes.

Para compreender de forma mais ampla os fatores envolvidos na deterioração dos materiais metálicos, recorre-se ao conceito do triângulo da corrosão. Essa representação ajuda a visualizar as condições necessárias para o desencadeamento do processo corrosivo. Com base em dados coletados durante a pesquisa, foi possível reconhecer os fatores presentes no ambiente analisado que favorecem esse fenômeno, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 - Representação do triângulo da corrosão com base nas condições identificadas.



Fonte: Autoria própria (2025)

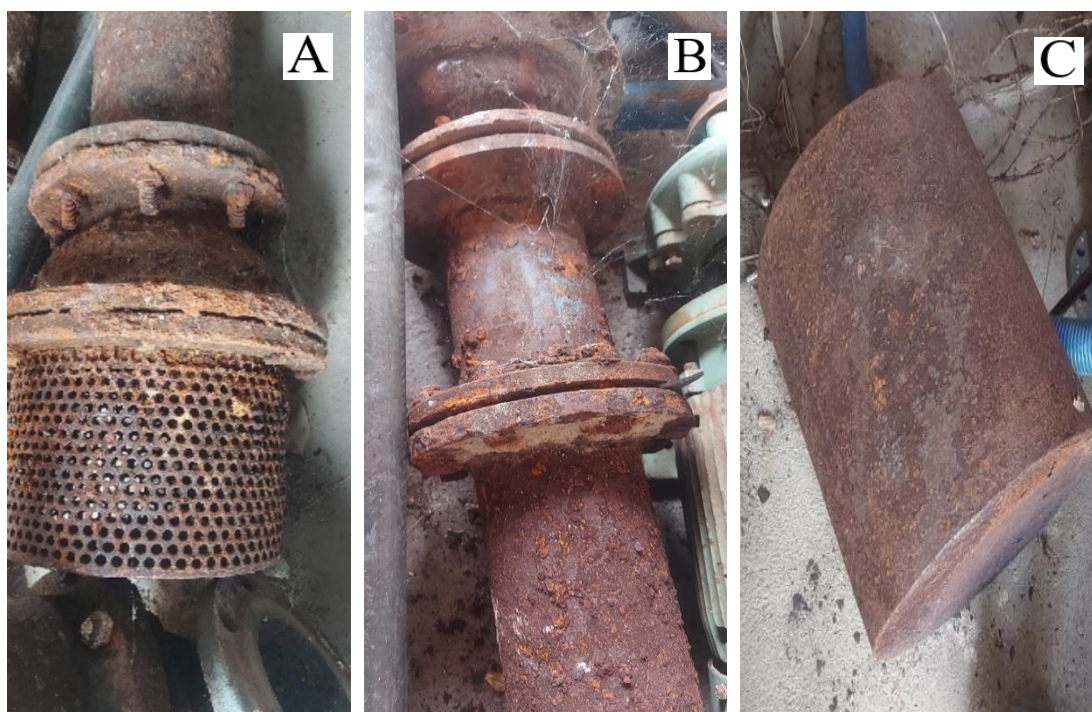
Com base em análise de Gentil (2022), observou-se que os materiais presentes nas estruturas são predominantemente ferro fundido e aço carbono, ambos com elevada suscetibilidade à corrosão. O meio corrosivo identificado envolve a exposição contínua à água e ao ar atmosférico, condição que favorece reações eletroquímicas nos metais. As condições operacionais incluem o transporte contínuo de água sob pressão, variações de temperatura ao

longo do dia e a inexistência ou falha de revestimentos protetores, sendo fatores que aceleram o processo corrosivo ao longo do tempo.

Conforme mencionado no *Resumo*, a inspeção permitiu "identificar formas de corrosão como uniforme, por placas e em torno de cordões de solda".

A Figura 15 apresenta três componentes metálicos com corrosão: (A) uma válvula de pé com crivo, (B) um trecho de tubulação de ferro fundido e (C) uma boia de ferro, todos com sinais evidentes de corrosão uniforme.

Figura 15 – Componentes com corrosão uniforme: (A) válvula de pé com crivo; (B) trecho de tubulação de ferro fundido; (C) boia de ferro.

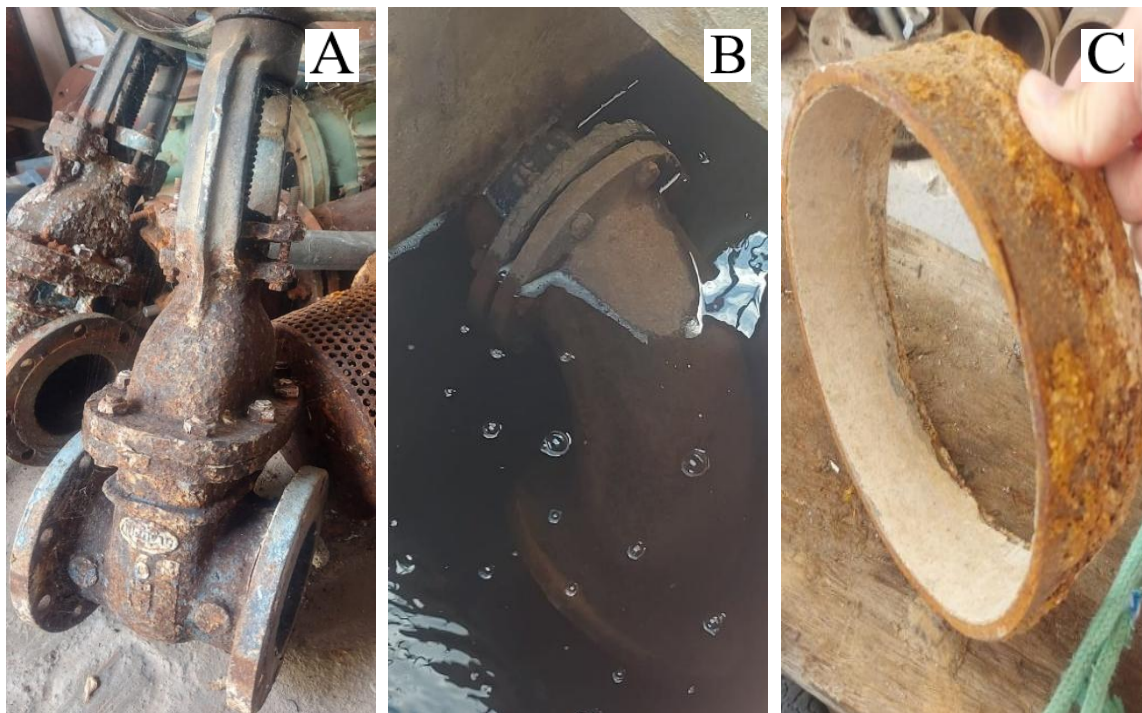


Fonte: Arquivo pessoal (2025)

As superfícies expostas exibem coloração marrom-avermelhada, característica da formação de óxidos de ferro, distribuídos de maneira homogênea. A textura é predominantemente pulverulenta (em pó e com facilidade de se soltar da peça) e contínua, sem áreas de ataque localizado, o que indica uma perda de material espalhada por toda a extensão das peças. Essa condição é típica de componentes que permaneceram frequentemente submersos, onde a exposição constante à água e ao oxigênio dissolvido favorece a oxidação generalizada. A ausência de revestimento protetivo também contribuiu para o avanço da corrosão ao longo do tempo.

Assim como observado nos componentes da Figura 15, a Figura 16 também reúne peças que apresentam corrosão uniforme, resultado da exposição prolongada à umidade e à ausência de proteção adequada.

Figura 16 – Corrosão uniforme: (A) registro de gaveta; (B) joelho metálico de 90°; (C) amostra de tubo.



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Conforme a Figura 16, na imagem A, observa-se um registro de gaveta metálico que sua instalação era enterrada. Atualmente fora de uso, o componente exibe intensa corrosão superficial de coloração marrom-avermelhada e textura pulverulenta, distribuída por quase toda a estrutura externa. Já a imagem B apresenta um joelho metálico de 90°, ainda em operação e frequentemente submerso, cuja superfície externa apresenta sinais de oxidação contínua. A ausência de revestimento protetivo, somada à exposição constante à água, contribui significativamente para o avanço da corrosão, comprometendo gradualmente sua integridade estrutural. Por fim, a imagem C mostra uma amostra de tubo que estava enterrado, evidenciando corrosão na parte externa, enquanto o revestimento interno presente apresenta um desgaste menos acentuado.

A Figura 17 também apresenta dois componentes com corrosão uniforme, ambos fora de operação e com avançado processo de corrosão: (A) um joelho de 90° fabricado em ferro fundido e (B) uma caixa de registro que exibe sinais característicos desse mesmo tipo de corrosão.

Figura 17 – Componente com corrosão uniforme: (A) joelho metálico de 90°; (B) caixa de registro.



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

A superfície externa mostra desagregação visível do material metálico como pode ser observado nos componentes da Figura 17. Alguns pontos de fratura exposta evidenciam falhas estruturais internas, sugerindo perda de coesão ao longo dos contornos dos grãos metálicos. A presença de trincas e fragmentação localizada indica que o ataque ocorreu de forma progressiva no interior da microestrutura do metal, comprometendo seriamente a resistência mecânica dos componentes.

Já a Figura 18 exibe uma caixa de registro, provavelmente de ferro fundido, com intensa corrosão por placas na superfície externa.

Figura 18 - Corrosão por placas em caixa de registro.



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Na Figura 18 é possível observar camadas espessas de óxidos com coloração marrom-avermelhada, formando placas irregulares e parcialmente destacadas da estrutura. As placas formadas são de tamanhos irregulares, algumas parcialmente desprendidas, revelando áreas com perda significativa de material metálico. Há indicativos de que, com o tempo, o desprendimento dessas camadas de óxido gerou cavidades rasas, porém extensas, comprometendo a integridade da parede externa do componente. Essa corrosão foi intensificada pela exposição prolongada à umidade e à ausência de revestimento protetivo.

A Figura 19 apresenta um trecho de tubulação metálica em operação, onde se observa corrosão localizada ao redor do cordão de solda. A oxidação aparece como uma faixa estreita de coloração marrom-avermelhada, visivelmente apresentando uma pequena linha de corrosão entre junção do tubo e a flange. Esse tipo de corrosão tende a ocorrer na zona próxima à solda, que pode ter sofrido alteração estrutural durante o processo soldagem na fabricação. A presença de ferrugem indica início de deterioração localizada, possivelmente agravada por descontinuidade na pintura protetiva ou acúmulo de umidade na região. Apesar de não comprometer toda a tubulação, o dano indica necessidade de reparo.

Figura 19 - Corrosão em torno de cordão de solda em tubulação.



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

6.2 Fatores contribuintes para a corrosão no sistema

A análise dos resultados, em conjunto com a fundamentação teórica, permitiu identificar os principais fatores que promovem a corrosão nos componentes do SAAE de Alexandria-RN:

A água distribuída pelo SAAE, embora tratada e dentro dos padrões de potabilidade conforme a tabela 1, ainda mantém um cloro residual (0,05 mg/L), que é um agente oxidante capaz de acelerar reações eletroquímicas de corrosão nas superfícies metálicas. Além disso, o pH neutro (7,32) e a turbidez muito baixa (0,06 UT) sugerem que o ambiente é relativamente estável, mas não completamente inofensivo ao ataque corrosivo, especialmente em locais onde o revestimento das tubulações esteja danificado.

A Tabela 1 apresenta dados da água tratada disponível na futura de água, conforme realizado e verificado no dia 10 de junho de 2025.

Tabela 1 - Parâmetros da água distribuída.

Parâmetro	Padrão	Total análise	Valor médio
Cor	Até 15 uh	01	2,00
pH	6,0 a 9,5	01	7,32
Cloro	Até 5,0 mg/l	01	0,05
Turbidez	Até 5 ut	01	0,06

Fonte: SAAE – Fatura de abastecimento de água referente ao dia 10 de junho de 2025. Documento impresso.

É importante destacar que os dados disponíveis se referem apenas à água já tratada e distribuída à população. Não foi possível obter informações sobre a qualidade da água bruta que chega à estação de tratamento, a qual pode apresentar características ainda mais agressivas aos materiais metálicos, contribuindo para o desgaste das tubulações durante etapas internas do processo.

A Figura 20 apresenta um trecho da tubulação ainda em operação, que estava parcialmente enterrada e foi desenterrada. Observa-se uma diferença no ataque corrosivo entre a parte exposta à atmosfera e a que estava em contato com o solo. A região inferior, que esteve em contato direto com o solo, apresenta um avanço mais significativo do processo corrosivo, com evidentes sinais de degradação e perda da camada protetora original.

Figura 20 - Corrosão diferencial em tubulação parcialmente enterrada.



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

- **Condições Operacionais e de Manutenção:** A falta de manutenção periódica e a utilização de materiais, por vezes, já antigos, intensificam o processo corrosivo. A intermitência no fluxo ou na pressão da água também pode influenciar a formação e o desprendimento de películas protetoras ou produtos de corrosão.

Grande parte das peças analisadas, especialmente aquelas desativadas e armazenadas, apresentou sinais de desgaste avançado, indicativos de longos períodos de exposição sem proteção anticorrosiva adequada.

A utilização de materiais mais antigos, aliados à ausência de revestimentos protetores em algumas áreas, deixa o metal diretamente exposto ao contato direto com a água e com o oxigênio atmosférico, acelerando a formação de óxidos e a progressão da corrosão.

Além disso, a falta de inspeções regulares e de estratégias de prevenção, como reaplicação de pinturas protetoras e verificação das condições superficiais, contribui para que pequenas falhas, como trincas ou áreas descascadas, evoluam para danos mais profundos e comprometimento estrutural.

6.3 Análise comparativa e estágio da corrosão

A inspeção revelou uma distinção importante no estágio da corrosão entre os componentes:

- **Componentes Desativados e Fora de Operação:** Foi observado que os danos mais severos por corrosão se encontravam em tubulações e equipamentos que já haviam sido desativados e removidos de operação. Nesses casos, a corrosão avançada, com grande perda de massa e perfurações, indicava uma falha estrutural total.

Essa observação corrobora com a expectativa de que materiais expostos por longos períodos sem manutenção e em ambientes agressivos, especialmente se já estavam comprometidos antes da desativação, tenderão a sofrer degradação mais acentuada.

- **Elementos Ainda em Uso:** As tubulações e componentes que se encontram em pleno funcionamento apresentavam corrosão em estágio inicial a moderado. Isso sugere que, embora o processo corrosivo esteja ativo, ainda há tempo para a implementação de medidas preventivas e corretivas antes que ocorram falhas catastróficas. As manifestações observadas nestes trechos incluem a corrosão uniforme em estágio inicial e pequenas formações de placas.

6.4 Implicações dos resultados e recomendações

Os resultados obtidos evidenciam a necessidade premente de adoção de medidas preventivas e um plano de manutenção eficaz para prolongar a vida útil das peças ainda

operacionais e garantir a eficiência e segurança do sistema de abastecimento de água de Alexandria-RN. A inação pode levar a:

- **Aumento de Vazamentos e Perdas:** A corrosão compromete a integridade dos componentes, resultando em vazamentos que causam perdas de água tratada, desperdício de recursos hídricos e financeiros.
- **Comprometimento da Qualidade da Água:** A deterioração das peças pode liberar produtos de corrosão na água, alterando sua cor, sabor e, em casos extremos, apresentando riscos à saúde da população.
- **Elevados Custos de Manutenção:** A correção de problemas graves de corrosão, como rupturas de tubulações, envolve custos significativos com reparos emergenciais, substituição de trechos e interrupção do abastecimento.

Diante do cenário observado, propõe-se as seguintes recomendações, baseadas nas técnicas para inibição de corrosão discutidas na Seção 4.5:

1. **Aplicação de Revestimentos Protetores:** A utilização de revestimentos internos e externos (como tintas epóxi, polímeros ou outros materiais não metálicos) cria uma barreira física entre o metal e o meio corrosivo, impedindo o contato direto e as reações eletroquímicas.

Gentil (2022) afirma que "a utilização de revestimentos é uma das técnicas mais amplamente adotadas para inibir a corrosão". A escolha do revestimento deve considerar o material do componente, o tipo de corrosão predominante e as condições ambientais (subterrâneas ou expostas).

2. **Proteção Catódica em Trechos Enterrados:** Para as tubulações enterradas, onde o solo atua como eletrólito, a proteção catódica é uma técnica eficaz. Ela pode ser implementada por meio de ânodos de sacrifício ou corrente impressa, convertendo a tubulação em um cátodo e inibindo a corrosão.

Dutra e Nunes (2011) destacam que a proteção catódica é "aplicada principalmente em estruturas que estão enterradas ou submersas, devido à necessidade de um eletrólito contínuo".

3. **Implementação de um Cronograma Regular de Manutenção Preventiva:** Inspeções periódicas visuais e por instrumentação (se possível) são cruciais para identificar e tratar os focos de corrosão em estágios iniciais, antes que evoluam para problemas mais graves. Isso inclui limpeza, retoques de revestimentos e substituição de pequenas seções danificadas.

Tolentino (2015) salienta que "inspeções regulares são fundamentais para minimizar os danos". Um plano de manutenção bem estruturado otimiza recursos e prolonga a vida útil da infraestrutura.

4. **Monitoramento da Qualidade da Água:** Acompanhar de perto os parâmetros físico-químicos da água distribuída (pH, cloretos, oxigênio dissolvido) pode fornecer dados importantes para ajustar o tratamento da água e minimizar seu potencial corrosivo.
5. **Educação e Capacitação:** Treinar a equipe responsável pela manutenção para identificar precocemente os sinais de corrosão e aplicar as técnicas de prevenção adequadas é um investimento que se reverte em durabilidade e segurança do sistema.

Os resultados deste estudo demonstram que, embora a corrosão seja um desafio constante em sistemas de abastecimento, a aplicação de estratégias de prevenção e manutenção baseadas no conhecimento dos mecanismos e formas de corrosão pode mitigar significativamente seus impactos, garantindo a continuidade e a qualidade do serviço prestado à população de Alexandria-RN.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo analisar os efeitos da corrosão em componentes metálicos no sistema de abastecimento de água do município de Alexandria–RN, por meio de um estudo de caso realizado na estação de tratamento do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). A partir de revisão bibliográfica, visita técnica à estação e registros fotográficos, foi possível identificar diferentes formas de corrosão presentes nas estruturas, como corrosão uniforme, por placas e em torno de cordões de solda. A análise dos componentes metálicos evidenciou que os danos mais severos estavam concentrados em peças desativadas, enquanto os elementos ainda em uso apresentavam sinais iniciais ou moderados de degradação.

Os objetivos propostos foram alcançados ao se identificar os principais agentes envolvidos no processo corrosivo e suas manifestações mais recorrentes nos materiais analisados. Verificou-se que fatores como ausência de revestimento protetivo e a falta de manutenção preventiva contribuíram de forma significativa para o avanço da corrosão. Somam-se a esses aspectos as condições do meio em que os componentes operam, destacando-se a constante exposição à umidade, o contato prolongado com água tratada contendo resíduos de cloro e a presença de oxigênio dissolvido, que atuam como agentes aceleradores da degradação das superfícies metálicas.

Com base nos resultados e na fundamentação teórica, recomenda-se a aplicação de revestimentos protetores adequados, a adoção de proteção catódica em trechos enterrados e a implementação de um cronograma regular de manutenção preventiva, incluindo inspeções periódicas nas peças metálicas. Também se destaca a importância do monitoramento contínuo dos parâmetros da água e a capacitação técnica da equipe envolvida na operação e manutenção do sistema, como estratégias fundamentais para garantir a segurança, eficiência e durabilidade da rede de abastecimento.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se a impossibilidade de realizar ensaios laboratoriais e testes quantitativos sobre a taxa de corrosão, bem como a falta de dados de longo prazo que permitissem avaliar a progressão da degradação ao longo dos anos. Além disso, não foi possível obter informações sobre a qualidade da água bruta antes do processo de tratamento. Para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de estudos experimentais que envolvam medições *in situ* e análises laboratoriais de diferentes materiais metálicos em condições reais de operação, além do desenvolvimento de modelos preditivos que avaliem o comportamento da corrosão em função de variáveis operacionais e ambientais.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, E. **Estudo comparativo do processo corrosivo do aço patinável e do aço carbono comum**. Belém, 2009.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CARVALHO, Carla Caroline Alves; DA SILVA, Manoel Mariano Neto; GOMES, William Vieira; JUNIOR, Almir Mariano de Sousa; LIMA, Daniela De Freitas. **Análise do processo corrosivo sofrido nos equipamentos e tubulações do reservatório de abastecimento hídrico da cidade de Pau dos Ferros/RN**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Rafain Palace Hotel & Convention Center - Foz do Iguaçu – PR, 2016.

CASTRO, E. M. C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. Orientador: Ernani Carlos de Araújo. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, 1999. Disponível em: Acesso em: 08 jul. 2025.

DUTRA, Aldo Cordeiro; NUNES, Laerce de Paula. **Proteção catódica: técnica de combate à corrosão**. 5. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 24 jun. 2025.

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.

GEMELLI, E. **Corrosão: introdução e avaliação**. Joinville–SC (Brasil): <https://livro-corrosao.vercel.app/>, 2024, 567 p.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2011.

GENTIL, V. **Corrosão**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022. *E-book*. pág. 330. ISBN 9788521637998. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521637998/>. Acesso em: 30 maio. 2025.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**, 4a edição, São Paulo: Atlas, 2002.

GODOY, Arlida Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de administração de empresas**, v. 35, p. 57-63, 1995.

HENRIQUES, Diógenys et al. **Heranças da paisagem semiárida: os relevos residuais de Alexandria-RN**, Brasil. Cerrados, v. 18, n. 2, p. 208-226, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo brasileiro de 2022: Alexandria – Rio Grande do Norte**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

INBEC, Pós-Graduação – Especialização Engenharia, Arquitetura. **Inibidores de corrosão – tipos e principais aplicações**. 2019. Disponível em: <https://inbec.com.br/blog/inibidores-corrosao-tipos-principais-aplicacoes>. Acesso em: 13 jun. 2025.

MAINIER, F. B.; LETA, F. R. **O ensino de corrosão e de técnicas anticorrosivas compatíveis com o meio ambiente**. Disponível em: <<https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/18/trabalhos/EMA002.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2025.

MARIANO, Carolina; PAREDES, Ramón SC. **Obtenção de revestimentos de nióbio depositados por aspersão térmica para proteção à corrosão marinha**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

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.

OLIVEIRA, G. D. **Corrosão e tratamento de superfície**. Belém: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2012.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Editora Blucher, 2009. E-book. p. IX. ISBN 9788521217244. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521217244/>. Acesso em: 22 jun. 2025.

TOLENTINO, N. M. C. **Processos químicos industriais matérias-primas, técnicas de produção e métodos de controle de corrosão**. Rio de Janeiro: Érica, 2015.

TSUTIYA, M. T., **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.