



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

IVAN GUSTAVO FREITAS CAVALCANTE

**ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO DA CAIXA D'ÁGUA MUNICIPAL
DE SÃO FRANCISCO DO OESTE - RN**

PAU DOS FERROS

2021

IVAN GUSTAVO FREITAS CAVALCANTE

**ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO DA CAIXA D'ÁGUA MUNICIPAL
DE SÃO FRANCISCO DO OESTE - RN**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido —
UFERSA, Campus Pau dos Ferros, como requisito
para obtenção do título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

Orientador (a): Prof^a Dra. Sanderlir Silva Dias

PAU DOS FERROS - RN

2021

© 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.

C377a Cavalcante, Ivan Gustavo Freitas.
Análise do processo corrosivo da d'água
municipal de São Francisco do Oeste - RN / Ivan
Gustavo Freitas Cavalcante. - 2021.
34 f. : il.

Orientadora: Sanderlir Silva Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Corrosão. 2. Formas de corrosão. 3.
Prevenção da corrosão. 4. Revestimento não
metálico orgânico. 5. Triângulo de corrosão. I.
Dias, Sanderlir Silva, orient. II. Título.

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

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

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.

IVAN GUSTAVO FREITAS CAVALCANTE

**ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO DA CAIXA D'ÁGUA
MUNICIPAL DE SÃO FRANCISCO DO OESTE - RN**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido, como parte das exigências
para a obtenção do título de Bacharel
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Pau dos Ferros, 19 de novembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

SANDERLIR SILVA

DIAS:83276688387

Assinado de forma digital por
SANDERLIR SILVA

DIAS:83276688387

Dados: 2021.11.19 17:10:58 -03'00'

Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias (UFERSA)
Orientadora

Arnayra Sonayra de B.S. Carreiro

Profa. Dra. Arnayra Sonayra de Brito Silva Carreiro (UFERSA)
1º Examinador

Tycianne Janyne de Oliveira Cabral

Dra. Tycianne Janyne de Oliveira Cabral (Engenheira Química)
2ª Examinadora

A Gaudêncio Soares Barreto (in memoria), que foi meu avô, amigo e fonte de inspiração, exemplo de pessoa a ser seguido e fundamental para o início desse sonho.

A Joscelin Marcondes Xavier de Almeida (in memoria), que além de um grande professor, foi um verdadeiro amigo e uma das peças principais para eu ser o que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar forças nas horas mais difíceis que enfrentei, permitindo que eu chegasse no fim dessa caminhada.

A minha mãe Maria Iracilda de Freitas Cavalcante que além mãe é amiga, um exemplo de pessoa, mulher, irmã e amiga que cativa a todos em volta,

A meu pai José Gaspar Cavalcante Barreto, exemplo de pessoa e homem, no qual me inspiro e almejo ser algum dia.

A meus irmãos Iago Gutierrez Freitas Cavalcante e Ianne Gaugannya Freitas Cavalcante, que sempre estiveram comigo me dando apoio e torcendo por mim.

Aos meus tios que fazem e fizeram tudo para a realização desse sonho, em especial a Maria Idaciria de Freitas por ser a maior incentivadora da família, sempre prezando o estudo dos sobrinhos e filho Davi.

Aos meus avôs Francisco Clarindo, Sebastiana Guerra, Socorro Moraes e Gaudêncio Barreto (in memoria) que me ensinaram valores importantes e contribuíram com minha educação.

Agradeço aos meus amigos Girlandio Moura, Cássio Alencar, Kaio Alencar e Renata Rêgo por estarem comigo desde o início da formação e nunca me deixaram pensar em desistir, assim como também Sávio Marinho, Joel Ribamar e Moisés Pereira, que mesmo não sendo amigos da faculdade me ajudaram a passar por momentos difíceis.

À minha orientadora Dra. Sandelir Silva Dias, pela paciência e tempo utilizados nesse trabalho, assim como também os ensinamentos passados em sala de aula.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido, que me proporcionou a realização de um sonho muito aguardado.

“Grandes momentos da sua vida não são necessariamente as coisas que você faz, eles também são as coisas que acontecem com você.”

Ted Mosby, How I Meet Your Mother.

RESUMO

A corrosão tem sido uma das maiores preocupações que os engenheiros enfrentam, principalmente no ramo industrial, muitas vezes fazendo a produção parar. Sendo assim, é preciso conhecer as formas e tipos, assim como o material que o processo corrosivo está agindo, a fim de encontrar uma maneira adequada para combatê-la de forma eficiente para que a durabilidade do material seja aumentada e prevenindo perdas futuras. Por esse motivo, o presente trabalho tem como foco uma abordagem acerca do processo corrosivo presente na caixa d'água municipal, localizada na cidade de São Francisco do Oeste, que tem fundamentos em estudos bibliográficos, permitindo a identificação do tipo e forma de corrosão, assim como a formação do triângulo da corrosão que auxiliou na proposta de prevenção e recuperação para o local em estudo. Analisando os dados obtidos pode-se observar que a forma de corrosão em maior abundância é a uniforme. Com tudo, constatou-se que o processo corrosivo no local do estudo é resultado também da falta de manutenção, necessitando de vistoria constante, afim de concretizar a vida útil prevista.

Palavras-chave: Corrosão; Formas de corrosão; Prevenção da corrosão; Revestimento não metálico orgânico; Triângulo de corrosão.

ABSTRACT

Corrosion has been one of the biggest concerns engineers face, particularly in the industrial sector, often bringing production to a halt. Therefore, it is necessary to know the shapes and types, as well as the material that the corrosive process is acting on, in order to find an adequate way to combat it efficiently so that the durability of the material is increased and preventing future losses. For this reason, the present work focuses on an approach to the corrosive process present in the municipal water tank, located in the city of São Francisco do Oeste, which is based on bibliographic studies, allowing the identification of the type and form of corrosion, as well as the formation of the corrosion triangle that helped in the prevention and recovery proposal for the study site. Analyzing the data obtained, it can be observed that the most abundant form of corrosion is the uniform one. However, it was found that the corrosive process at the study site is also a result of the lack of maintenance, requiring constant inspection in order to achieve the expected useful life.

Keywords: Corrosion; Forms of corrosion; Corrosion prevention; Organic non-metallic coating; Corrosion triangle.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Reação de oxidação do ferro.....	31
Equação 2: Reação de redução do ar atmosférico.	31
Equação 3: Reação global.	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Corrosão eletroquímica, devido a exposição atmosférica.....	16
Figura 2: Corrosão química em poste de concreto armado.	17
Figura 3: Corrosão eletrolítica em tubos de aço-carbono.....	17
Figura 4: Corrosão uniforme em chave de boca.....	18
Figura 5: Corrosão por placas.....	18
Figura 6: Corrosão Alveolar.	19
Figura 7: Corrosão por pites em aço inoxidável.....	19
Figura 8: Corrosão Intergranular.	20
Figura 9: Corrosão Transgranular.....	20
Figura 10: Corrosão Filiforme.....	21
Figura 11: Corrosão por esfoliação em tubo de aço-carbono.....	21
Figura 12: Corrosão gráfitica do ferro fundido.	22
Figura 13: Dezincificação em parte interna do componente de latão.....	22
Figura 14: Chapa de aço-carbono em empolamento por hidrogênio.	23
Figura 15: Corrosão em torno de solda.	23
Figura 16: Representação do esquema de pintura.	25
Figura 17: Gráfico do triângulo de corrosão.	26
Figura 18: Vista frontal da Caixa D'água Municipal de São Francisco do Oeste.....	27
Figura 19: Organograma da Pesquisa.....	28
Figura 20: Triângulo da Corrosão.	29
Figura 21: tubulação metálica presente na caixa d'água.	30
Figura 22: Escada que dá acesso ao topo	30
Figura 23: Estrutura de concreto	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRACO

CTF

Et al

IBGE

RN

H₂

H₂SO₄

O₂

H₂O

Fe

e⁻

Associação Brasileira de Corrosão

Corrosão sob tensão fraturante

Colaboradores

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Rio Grande do Norte

Hidrogênio

Ácido sulfúrico

Oxigênio

Água

Ferro

Elétron

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1. GERAL.....	15
2.2. ESPECÍFICOS	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1. Corrosão.....	16
3.2.TIPOS DE CORROSÃO	16
3.2.1.Corrosão Eletroquímica.....	16
3.2.2.Corrosão Química	17
3.2.3.Corrosão Eletrolítica	17
3.3. FORMAS DE CORROSÃO	18
3.3.1.Uniforme.....	18
3.3.2.Corrosão por placas	18
3.3.3.Alveolar	19
3.3.4.Corrosão putiforme ou por pite	19
3.3.5. Corrosão intergranular	19
3.3.6. Corrosão Transgranular	20
3.3.7. Corrosão Filiforme.....	20
3.3.8. Corrosão por esfoliação	21
3.3.9. Corrosão gráfitica	21
3.3.10. Corrosão por dezincificação	22
3.3.11. Empolamento pelo hidrogênio.....	22
3.3.12. Corrosão em torno do cordão de solda	23
3.4. TÉCNICAS ANTICORROSIVAS.....	23
3.4.1. Inibidores de corrosão.....	24
3.4.2. Revestimento	24
3.4.3. Proteção catódica	25
3.4.4. Proteção anódica.....	25
3.5. TRIÂNGULO DA CORROSÃO	26
4. METODOLOGIA	27
4.1. Local de estudo	27
4.2. Procedimentos metodológicos	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5.1. Soluções propostas	31
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
7. REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

Segundo Gentil (2011), o fenômeno de deterioração de um material, sendo ele metálico ou não e decorrente da ação química ou eletroquímica do meio ambiente em que está sujeito, estando relacionada a esforços mecânicos ou não, é definido como corrosão. De forma geral, corresponde a ação do meio sobre um determinado material, resultando no desgaste do mesmo.

Sendo assim, quando observamos tudo ao redor, pode-se perceber que a corrosão sendo ela perceptível ou não, é um problema que constantemente é encontrado no dia a dia nas mais diversas áreas. As perdas causadas pelos danos da corrosão podem ser bem significativas tanto para economia, o meio ambiente e a segurança da sociedade, tornando o estudo dos agentes causadores e a busca por soluções bem relevantes.

Para combatê-la, se torna necessário o conhecimento prévio sobre os tipos e formas existentes de corrosão. Por possuírem características únicas, permitem distinguir qual a forma está atuando sobre o material estudado e se tornar possível encontrar a solução mais adequada e viável para o problema, fazendo com que não haja perda de eficiência e problemas futuros, além de aumentar a durabilidade do material (GENTIL, 2011).

Em alguns casos, fazer a substituição do material danificado chega a custar de 20% a 50% mais, dificultando a sua reposição, sendo assim, devido os custos de recuperação serem altos é mais indicado que todo o recurso que seria empregado para a substituição do material deveria ter sido utilizado, desde o início, em técnicas de proteção contra o fenômeno corrosivo, como o uso de revestimentos e inibidores de corrosão. (MERÇON *et al*, 2004).

Diante disso, o trabalho tem como proposta efetuar o estudo e análise das formas de corrosão, propondo medidas de proteção que reduzam ou exterminem o processo corrosivo dos materiais que estão presentes na estrutura da caixa d'água municipal de São Francisco do Oeste – RN.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Realizar uma avaliação qualitativa da caixa d'água municipal de São Francisco do Oeste, a fim de identificar os tipos de corrosão presentes, as possíveis causas e o nível de degradação do local devido a interação com o meio, estabelecendo deste modo formas adequadas para recuperar ou prevenir as áreas afetadas, por meio de vistorias e avaliação dos dados obtidos.

2.2. ESPECÍFICOS

- Compreender o processo corrosivo e suas causas;
- Identificar os tipos de corrosão atuantes;
- Efetuar vistoria do local;
- Avaliar os dados e resultados fotográficos;
- Determinar o triângulo de corrosão;
- Apresentar soluções de proteção ou recuperação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Corrosão

Corrosão pode ser definida como uma deterioração de um material metálico ou não, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos. Essa deterioração decorrente da interação físico-química entre o material e o meio em que ele atua, corresponde a modificações sofridas que são prejudiciais e indesejáveis para o uso adequado do material, como o desgaste e as variações químicas ou alterações estruturais. (GENTIL, 2011)

3.2. Tipos de Corrosão

O termo corrosão é comumente utilizado para indicar as perdas do processo de decomposição do material que pode acontecer totalmente, parcialmente e superficialmente, devido a ataques eletroquímicos, químicos ou eletrolíticos, classificando a corrosão de acordo com o meio de atuação em eletroquímica, química e eletrolítica (MERÇON et al, 2004).

3.2.1. Corrosão Eletroquímica

A corrosão eletroquímica é um processo espontâneo, passível de ocorrer quando o metal está em contato com um eletrólito, onde acontecem, simultaneamente, reações anódicas e catódicas. É mais frequente na natureza e se caracteriza por realizar-se necessariamente na presença de água, na maioria das vezes, à temperatura ambiente e com a formação de uma pilha de corrosão (MERÇON et al, 2004). A Figura 1 ilustra como pode ser encontrado a corrosão eletroquímica.

Figura 1: Corrosão eletroquímica, devido a exposição atmosférica.



Fonte: MERÇON et al, 2004.

3.2.2. Corrosão Química

A corrosão química, também conhecida como seca, por não necessitar de água, corresponde ao ataque de um agente químico diretamente sobre o material, sem transferência de elétrons de uma área para outra. No caso de um metal, o processo consiste numa reação química entre o meio corrosivo e o material metálico, resultando na formação de um produto de corrosão sobre a sua superfície (MERÇON et al, 2004). A Figura 2 ilustra como pode ser encontrado a corrosão química.

Figura 2: Corrosão química em poste de concreto armado.



Fonte: MERÇON *et al*, 2004.

3.2.3. Corrosão Eletrolítica

Caracteriza por ser um processo eletroquímico, que se dá com a aplicação de corrente elétrica externa, ou seja, trata-se de uma corrosão não-espontânea. Esse fenômeno é provocado por correntes de fuga, também chamadas de parasitas ou estranhas, e ocorre com frequência em tubulações de petróleo e de água potável, em cabos telefônicos enterrados, em tanques de postos de gasolina entre outros (MERÇON et al, 2004). A Figura 3 ilustra como pode ser encontrado a corrosão eletrolítica.

Figura 3: Corrosão eletrolítica em tubos de aço-carbono.



Fonte: MERÇON *et al*, 2004.

3.3. Formas de Corrosão

O processo corrosivo se apresenta de diversas formas, sendo necessário ter o conhecimento dessas formas para compreender o processo de corrosão e identificar cada uma delas presentes no objeto de estudo, além das medidas de proteção. Assim, segundo GENTIL (2011), as formas de corrosão podem ser classificadas de acordo com sua morfologia:

3.3.1. Uniforme

É a forma de corrosão eletroquímica que se alastra por toda a superfície, havendo perda de espessura. Sendo uma das mais comuns, a corrosão uniforme é uma das mais fáceis de controlar, de visualizar e prevenir (ABRACO, 2013). Essa forma de corrosão pode ser representada pela figura 4.

Figura 4: Corrosão uniforme em chave de boca.

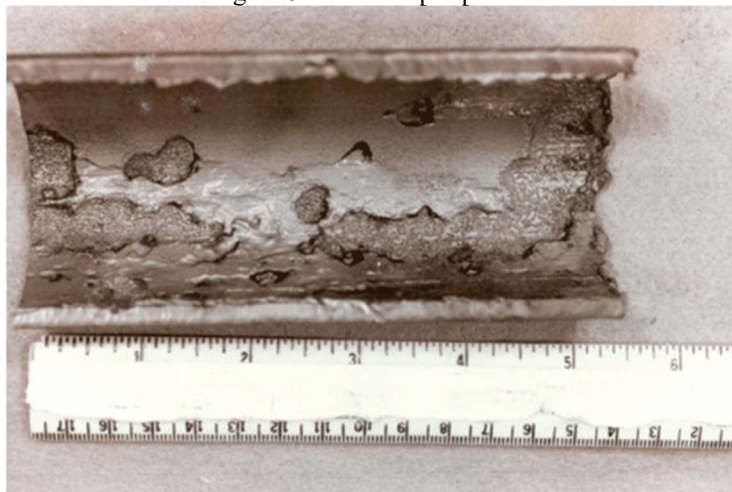


Fonte: TORINO, 2018.

3.3.2. Corrosão por placas

Localiza-se somente na superfície metálica ao invés de toda sua extensão, em que placas vão se desprendendo do material e formando escavações, devido aos deslocamentos das mesmas, que se desprendem progressivamente (PROBST, 2017). Pode ser representado pela figura 5.

Figura 5: Corrosão por placas.



Fonte: TORINO, 2018.

3.3.3. Alveolar

Também é uma forma de corrosão localizada. Ela não é muito profunda e o diâmetro do alvéolo é maior do que a sua profundidade. O alvéolo é uma cavidade na superfície metálica e fundo arredondado (COELHO, 2015). Pode ser representado pela figura 6.

Figura 6: Corrosão Alveolar.



Fonte: TORINO, 2018.

3.3.4. Corrosão putiforme ou por pite

A corrosão putiforme aparece em pequenas áreas localizadas na superfície metálica, formando pites, ou seja, furos no material que apresentam um fundo anguloso e de profundidade superior ao diâmetro (OLIVEIRA, 2012). Pode ser representado pela Figura 7.

Figura 7: Corrosão por pites em aço inoxidável.



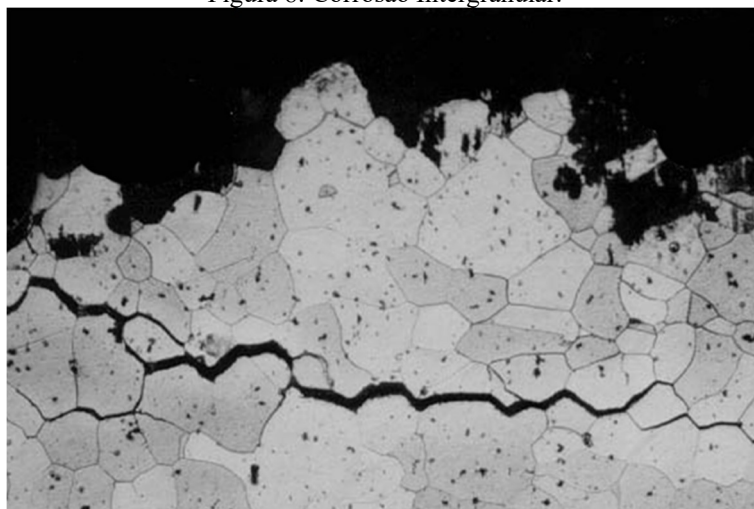
Fonte: GENTIL, 2011.

3.3.5. Corrosão intergranular

A corrosão intergranular é o processo corrosivo que ocorre entre os grãos da rede cristalina do material, fazendo que ocorra a perda das propriedades mecânicas, resultando em fraturas no

material quando submetido a esforços mecânicos, onde se tem a CTF (corrosão sob tensão fraturante) (OLIVEIRA, 2012). A figura 8 retrata esta forma de deterioração

Figura 8: Corrosão Intergranular.

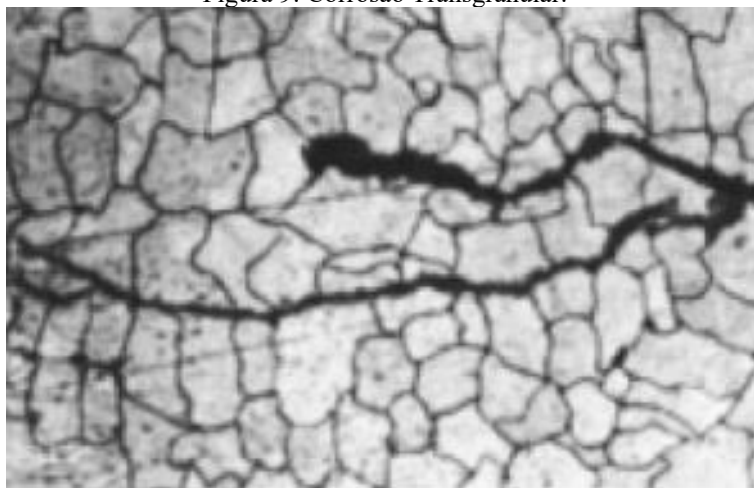


Fonte: TORINO, 2018.

3.3.6. Corrosão Transgranular

A corrosão transgranular ocorre nos grãos dentro da rede cristalina, perdendo as propriedades mecânicas e gerando trincas, podendo fraturar à menor solicitação mecânica, além de ocorrer também corrosão sob tensão fraturante (CTF) (OLIVEIRA, 2012). como mostrado na figura 9.

Figura 9: Corrosão Transgranular.

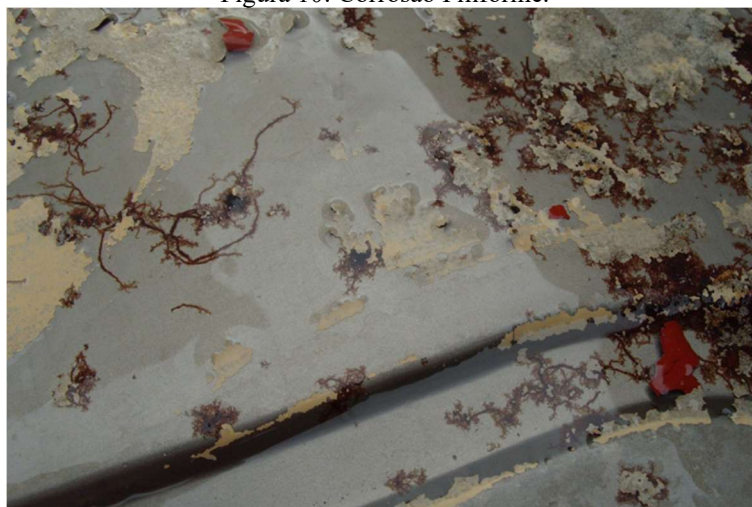


Fonte: GENTIL, 2011.

3.3.7. Corrosão Filiforme

Corrosão filiforme ocorre na forma de finos filamentos não profundos na superfície do material, que se espalham em diferentes direções e não se cruzam devido ao estado coloidal possuir carga positiva, resultando no processo de repulsão (PROBST, 2017) como na figura 10.

Figura 10: Corrosão Filiforme.



Fonte: TORINO, 2018.

3.3.8. Corrosão por esfoliação

A corrosão por esfoliação se processa de forma paralela à superfície metálica. Ocorre em chapas ou componentes extrudados que tiveram seus grãos alongados e achatados, criando assim condições para que inclusões ou segregações, presentes no material, sejam transformadas, devido ao trabalho mecânico, em plaquetas alongadas (GENTIL, 2011), como mostrado na figura 11.

Figura 11: Corrosão por esfoliação em tubo de aço-carbono.



Fonte: PROBST, 2017.

3.3.9. Corrosão grafítica

A corrosão grafítica ocorre no ferro fundido cinzento em temperatura ambiente, onde o grafite permanece intacto e o ferro é transformado em produtos de corrosão. Nessa forma, nota-se que a região que sofreu o processo de corrosão apresenta um aspecto escuro (PROBST, 2017) como mostrado na figura 12.

Figura 12: Corrosão gráfitica do ferro fundido.



Fonte: GENTIL, 2011.

3.3.10. Corrosão por dezincificação

A dezincificação é a corrosão que ocorre em ligas metálicas zinco e cobre, o zinco sofre corrosão e o cobre se destaca pela coloração avermelhada que se contrasta em relação a cor amarela do latão (COELHO, 2015) como mostrado na figura 13.

Figura 13: Dezincificação em parte interna do componente de latão.



Fonte: COELHO, 2015.

3.3.11. Empolamento pelo hidrogênio

Nessa forma de corrosão, o hidrogênio atômico penetra no material metálico, se alastrando facilmente em regiões com descontinuidades, devido apresentar pequeno volume, transformando-se em hidrogênio molecular, H_2 , que resulta na formação de bolhas como consequência da pressão exercida (COELHO, 2015) como mostrado na figura 14.

Figura 14: Chapa de aço-carbono em empolamento por hidrogênio.

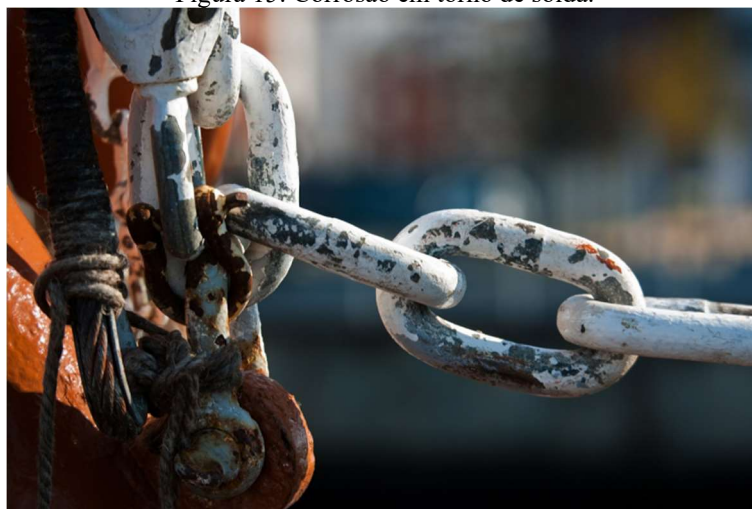


Fonte: TORINO, 2018.

3.3.12. Corrosão em torno do cordão de solda

A corrosão em torno do cordão de solda ocorre em aços inoxidáveis não estabilizados ou com teores maiores que 0,03% de carbono, processando-se intergranularmente (PROBST, 2017). Pode ser representado pela Figura 15.

Figura 15: Corrosão em torno de solda.



Fonte: TORINO, 2018.

3.4. Técnicas anticorrosivas

A corrosão pode resultar em perdas diretas e indiretas, e assim, além de se realizar um estudo sobre os diferentes casos e mecanismos que expliquem o processo de corrosão, deve-se realizar um estudo aprofundado sobre os meios de proteção mais indicados para cada caso.

É necessário entender as reações envolvidas no processo de corrosão para efetivamente controlar essas reações. É preciso também tratar a corrosão e seu controle em conjunto e não separadamente, pois o próprio mecanismo de corrosão pode indicar um método para neutralizar

esse fenômeno. Além disso, todas as variáveis que dependem do material metálico selecionado devem ser consideradas, bem como sua aplicação e o ambiente corrosivo ao qual estão expostos (GENTIL, 2011).

Entre as técnicas mais aplicadas para a prevenção desse fenômeno são os inibidores de corrosão, uso de revestimentos e a proteção catódica e anódica.

3.4.1. Inibidores de corrosão

Os inibidores de corrosão são resultantes de uma substância ou mistura de substâncias, que quando se encontram em concentrações adequadas podem causar a redução ou eliminação da corrosão no meio corrosivo, formando uma camada de proteção entre o material metálico e o eletrólito. Existem diversas classificações para os inibidores, podendo ser classificados segundo a sua composição em orgânicos e inorgânicos, e segundo o comportamento em oxidantes, não-oxidantes, anódicos, catódicos e de adsorção (ABRACO, 2007).

3.4.2. Revestimento

Este método evita que o oxigênio presente no ar entre em contato com o material metálico durante um longo período. O revestimento pode ser metálico, não metálico inorgânico e não metálicos orgânicos, como as tintas e polímeros. O revestimento metálico possui diversas finalidades, desde de decorativa até como agente de aumenta a resistência do material ao processo corrosivo. Por outro lado, o revestimento não metálico inorgânico é formado pelo depósito direto de compostos inorgânicos na superfície metálica ou pela formação desses compostos sobre a superfície. No entanto, diante das técnicas anticorrosivas pelo uso de revestimento, o mais empregado é o revestimento não metálico orgânico através da aplicação de tintas ou esquema de pinturas, que apresentam diversas propriedades consideradas importantes ao se escolher o método de prevenção, como a facilidade de aplicação/manutenção e a relação custo-benefício (GENTIL, 2011).

Segundo GENTIL (2011), para que o processo corrosivo tenha eficácia, o revestimento deve ser realizado com a aplicação de três camadas de tinta:

- Tinta de fundo ou primária (prime): Aplicado diretamente no substrato. Tem como características pigmentos anticorrosivos na sua composição, são foscas ou semifoscas e tem como responsabilidade dar aderência nas demais camadas.
- Tinta Intermediária: Aumenta a espessura do revestimento com um número de demão menor, melhorando assim a proteção do material formando uma barreira.

- Tinta de acabamento: Atribuem a resistência química ao revestimento, pois se encontra em contato direto com o meio atmosférico, além de ser responsável pelo acabamento e estética do material.

A Figura 16 mostra a esquematização da pintura utilizada nesse tipo de revestimento.

Figura 16: Representação do esquema de pintura.



Fonte: GENTIL, 2011.

3.4.3. Proteção catódica

A proteção catódica é aplicada em estruturas enterradas ou submersas em contato com eletrólitos, como tubulações e dutos. Esse método consiste em fazer com que o potencial de corrosão do equipamento proteja o material contra os efeitos do meio agressivo que se encontra sujeito.

Esta técnica pode ser aplicada de duas formas, pela proteção de anodos de sacrifício e proteção por corrente impressa. Na proteção por ânodos de sacrifício, é utilizado um metal de potencial de corrosão menor do que o material que se deseja proteger, servindo como anodo de sacrifício, em que o fluxo de corrente elétrica é fornecido pela diferença de potencial entre os dois metais. Já na proteção por corrente impressa o fluxo de corrente é fornecido por uma força eletromotriz gerada por uma fonte de corrente contínua, sendo utilizados retificadores de corrente alternada, responsáveis pelo fornecimento da corrente contínua precisa para proteger a estrutura metálica desejada (GENTIL, 2011).

3.4.4. Proteção anódica

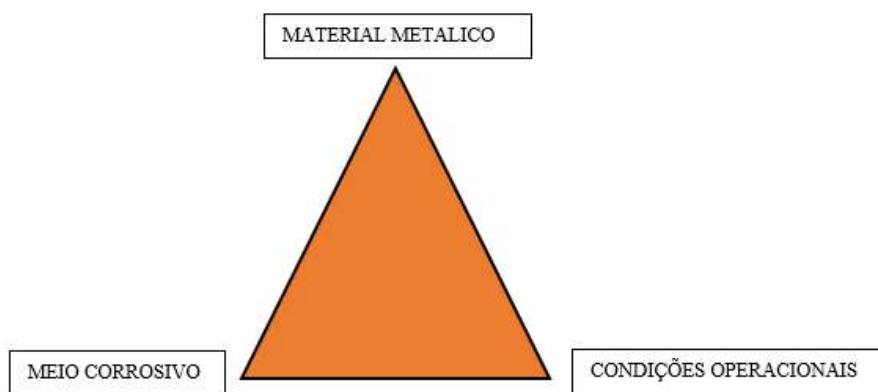
A proteção anódica é uma técnica de proteção contra a corrosão muito parecida com a catódica. A diferença consiste, basicamente, no esquema de ligação entre o retificador, os ânodos inertes e a estrutura metálica a ser protegida. Na proteção anódica, ocorre a formação de uma película protetora sobre os materiais metálicos devido a uma corrente anódica externa aplicada, permitindo que o material se torne passivo. Esse método é bastante utilizado em meios

fortemente agressivos como em tanques de armazenamento e trocadores de calor para ácido sulfúrico- H_2SO_4 (GENTIL, 2011).

3.5. Triângulo da corrosão

No estudo dos processos corrosivos devem ser sempre considerados as variáveis dependentes do material metálico, do meio corrosivo, e das condições operacionais, pois a partir da determinação de todos esses pontos, torna-se mais fácil compreender a causa por trás deste fenômeno e assim estabelecer as técnicas de proteção adequadas para cada situação, auxiliando na busca pela solução do problema (GENTIL, 2011). O triângulo da corrosão está representando na Figura 17.

Figura 17: Gráfico do triângulo de corrosão.



Fonte: Autor, 2021.

4. METODOLOGIA

4.1. Local de estudo

O estudo foi realizado na caixa d'água municipal de São Francisco do Oeste-RN. A mesma se encontra no centro da cidade e a distribuição da água é feita pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), sendo utilizada por toda a cidade, que segundo o censo de 2010 realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), corresponde a um total de 3.874 habitantes, com estimativa de 4.281 para o ano de 2021. A Figura 18 representa a vista frontal do local em estudo.

Figura 18: Vista frontal da Caixa D'água Municipal de São Francisco do Oeste.



Fonte: Autor, 2021.

4.2. Procedimentos metodológicos

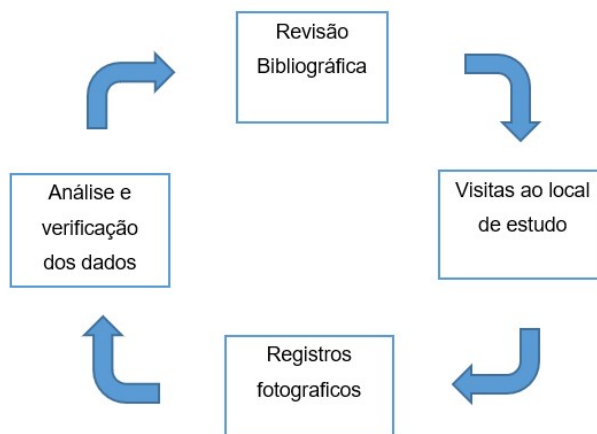
Para a realização deste trabalho realizou-se um estudo bibliográfico com foco nos processos corrosivos, reunindo dados, informações e definições necessárias para estudo, tais informações foram adquiridas por meio de revistas, artigos, livros, sites e outras fontes.

Durante o estudo foram realizadas vistorias no local e registros por meio de fotografias da parte estrutural da caixa d'água, como os pilares que a sustentam e canos na parte externa que fazem parte da distribuição da água.

Com base nesses pontos, foi proposto o triângulo de corrosão, onde foi definido o material metálico, o meio corrosivo que está atuando e condições operacionais, com a finalidade de auxiliar na escolha do método de prevenção recomendado.

De forma simples, a pesquisa como um todo ocorreu em um ciclo de quatro etapas como mostra a Figura 19:

Figura 19: Organograma da Pesquisa.

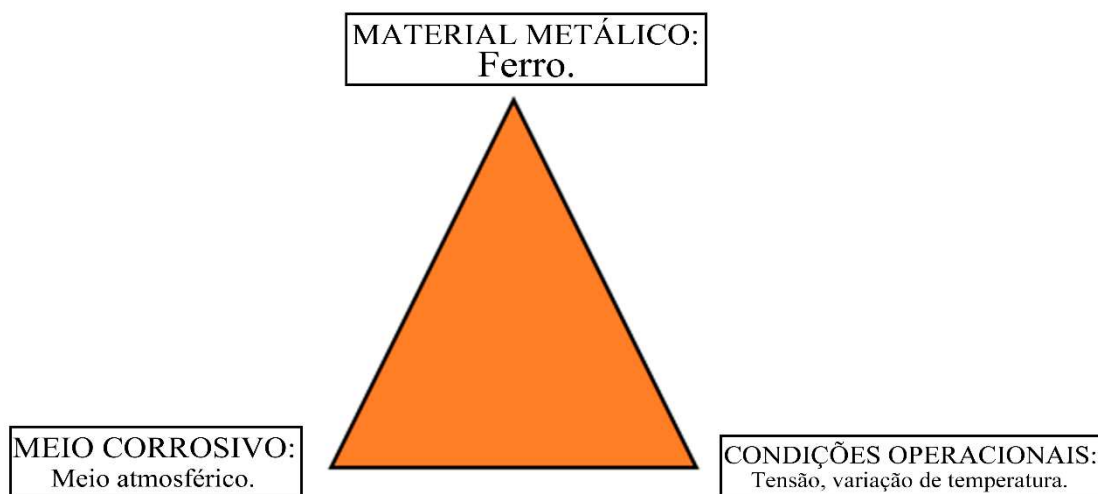


Fonte: Autor, 2021.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao se iniciar um estudo sobre o processo corrosivo é necessário a obtenção do triângulo de corrosão. Sendo assim, a partir dos dados obtidos e dos registros feitos por meio de fotografia foi possível determinar os três vértices do triângulo como mostra a figura 20.

Figura 20: Triângulo da Corrosão.



Fonte: Autor, 2021.

Temos que o material metálico é o ferro e aço, o meio corrosivo é o meio atmosférico, assim como também a exposição a chuva durante o período chuvoso e ao sol. Já as condições operacionais temos que o material fica sob tensão, pois suporta uma quantidade de água suficiente para abastecer a cidade e exposição constante onde a variação de temperatura.

A partir da inspeção foi verificado a presença de fenômeno corrosivo e foi possível realizar a observação das áreas com maiores problemas de corrosão, dando enfoque principal nos canos expostos e colunas de sustentação. Desta forma, detectou-se a coloração marrom-avermelhado em partes da tubulação e ferragens da estrutura, ligando diretamente ao processo de corrosão, tendo como diagnóstico o tipo de corrosão eletroquímico e a forma de corrosão principal a uniforme, mas também é possível observar corrosão em frestas como mostrado nas figuras 21 e 22.

Figura 21: tubulação metálica presente na caixa d'água.

(a) tubulação lateral vista por cima



Forma de corrosão: Uniforme

(b) tubulação lateral vista por baixo

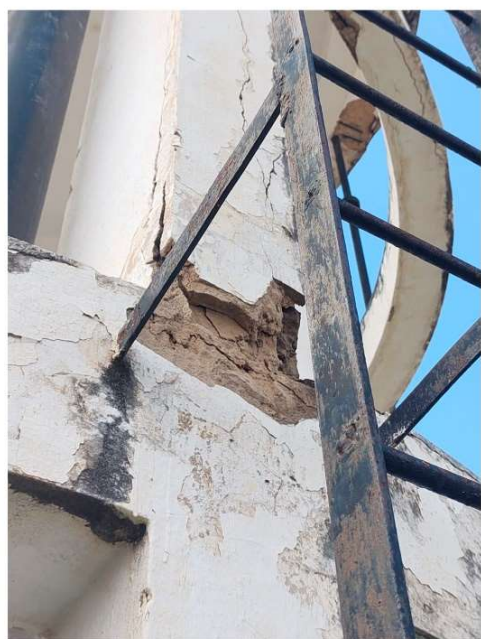


Forma de corrosão: Uniforme

Fonte: Autor, 2021.

Figura 22: Escada que dá acesso ao topo

(a) escada lateral



Forma de corrosão: Uniforme e pontos de solda

(b) escada lateral



Forma de corrosão: Uniforme e pontos de solda

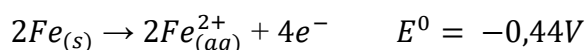
Fonte: Autor, 2021.

De acordo com a figura 21, podemos observar a coloração marrom avermelhado em alguns pontos que ligam as tubulações, caracterizando a ferrugem da superfície metálica, assim comprovando a presença do fenômeno corrosivo. O mesmo pode ser verificado na figura 22 onde também há pontos de corrosão.

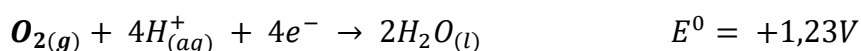
Sendo assim, com o tipo de corrosão já identificado, o mesmo se apresenta com maior intensidade na presença de água, apesar de se tratar de uma caixa d'água esses pontos só se encontram com a água em épocas chuvosas, pois a mesma conta com um sistema que impede o vazamento da água, mas apesar disso por se tratar de um local onde a constante passagem de água a umidade no ar também deve ser considerado como um agravante. Pelo potencial da água ser bem próximo ao do ferro, a probabilidade de o ferro ser oxidado em decorrência do contato com a água é bem baixo. Entretanto, a presença da água em conjunto com o oxigênio propicia o aparecimento da ferrugem, sabendo-se que a água apresenta íons dissolvidos, facilitando o movimento dos elétrons.

Com base nisso, o processo corrosivo pode ser explicado da seguinte forma, a oxidação do material metálico em contato com o meio atmosférico, isto é, o ar úmido, forma a ferrugem através da presença de oxigênio (O_2) e da água (H_2O), onde podem ser descritas nas equações 1, 2 e 3 o fenômeno de oxirredução.

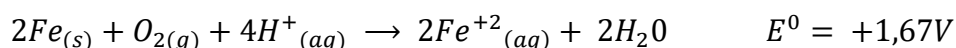
Equação 1: Reação de oxidação do ferro.



Equação 2: Reação de redução do ar atmosférico.



Equação 3: Reação global.



5.1. Soluções propostas

Através do triângulo da corrosão é possível determinar a técnica de proteção mais adequada para o caso, o método mais utilizado para esse tipo de corrosão é o revestimento. Na figura 22 nos itens (a) e (b) onde temos a escada, o sistema de revestimento seria eficaz, pois a deterioração ainda não chegou em um estágio tão avançando, mas no caso da figura 21 onde há as tubulações, o revestimento já não seria suficiente pois além da corrosão uniforme a início de corrosão por esfoliação e em frestas.

Figura 23: Estrutura de concreto.

(a) estrutura de aço no concreto em uma das colunas



Forma de corrosão: Uniforme

(b) estrutura de aço no concreto em uma das colunas



Forma de corrosão: Uniforme

Fonte: Autor, 2021.

Na figura 23, houve um deslocamento da camada de concreto que reveste a estrutura de concreto armado que segura a caixa d'água, onde a armadura ficou exposta ao meio atmosférico, ocasionando o processo de corrosão. para esse tipo de situação o mais eficaz seria remover essa camada de concreto que ainda existe no local, utilizar um impermeabilizante e em seguida uma nova camada de concreto como acabamento.

Sendo assim, uma solução recomendada para as áreas que ainda não foram muito afetadas pelo processo de corrosão como a escada é que seja feito um lixamento e aplicado um revestimento não metálico orgânico específico para o caso o recomendado seria também que não fosse aplicado apenas uma camada de acabamento, e sim a camada primária e intermediária também, trazendo assim uma maior durabilidade e resistência ao meio. Já nas áreas com maior degradação uma solução proposta seria a substituição do material, tomando todos os cuidados necessários com técnicas de proteção para que a vida útil do material seja estendida.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A corrosão por ser um fenômeno bem comum nos materiais metálicos estando presente diariamente no cotidiano, faz nos depararmos com sua complexidade devido suas várias maneiras de proteção, formas e tipos. Esse processo depende de diversos fatores, podendo ser evitado utilizando a aplicação correta dos métodos preventivos.

Por meio dos registros fotográficos e análise das mesmas, além dos fatores químicos, nota-se que a falta de manutenção adequada do local intensificou ainda mais o processo corrosivo, uma vez que, se houvessem vistorias realizadas corretamente o problema poderia ser identificado antes mesmo do material se encontrar nas condições que estão.

Sendo assim, fazer a determinação da extensão dos danos causados no processo corrosivo, verificados durante a inspeção que devem ser contínuas permitem fazer uma estimativa das medidas a serem adotadas. Por este motivo, fazer a escolha de um material de qualidade, analisar o local e prever possíveis agentes corrosivos e com isso planejar os meios proteção adequados, asseguram a integridade do material buscando uma vida útil maior e como consequência a redução de danos e gastos futuros. Em relação a questões sociais, mesmo sabendo que a estrutura da caixa d'água é forte e resistente ainda há riscos para a comunidade que mora em volta, pois caso não sejam tomadas providências, devido à alta tensão do peso da água sobre as colunas, pode vir a tombar sendo possível cair sobre alguma casa próxima.

Portanto, a pesquisa desenvolvida colaborou para estudos futuros no local ou em ambientes semelhantes, e conseguiu cumprir todos os objetivos estabelecidos, permitindo assim a compreensão do fenômeno estudado que é a corrosão, suas causas e reações, tal como a determinação do tipo e forma atuantes no caso e a formação do triângulo de corrosão que auxiliou na melhor escolha do método a ser utilizado na prevenção e recuperação.

7. REFERÊNCIAS

ABRACO–ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO. Corrosão – uma abordagem geral. 2013.

ABRACO. Inibidores de Corrosão: confiabilidade e redução de custos. **Revista corrosão & proteção**, v. 4, n. 14, p. 9, mar/abr. 2007

As formas de corrosão. Engenheiro de materiais. Disponível em: <<http://engenheirodemateriais.com.br/2017/04/26/as-formas-de-corrosao/>>. Acessado em 11 de agosto de 2021.

COELHO, Pedro. **Diferentes tipos e formas de corrosão**. Disponível em: <<https://www.engquimicasantosp.com.br/2015/06/diferentes-tipos-e-formas-decorrosao.html/>>. Acessado em 11 de agosto de 2021.

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

IBGE. **Cidades e Estados**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/sao-francisco-do-oeste.html/>>. Acessado em 25 de outubro de 2021.

MERÇON, Fábio; GUIMARÃES, Pedro Ivo Canesso; MAINIER, Fernando Benedito. **Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico**. Química Nova na escola, v. 1, n. 19, 2004.

OLIVEIRA, Antônio Roberto. **Corrosão e Tratamento de Superfície**. Disponível em: <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_metal/corr_trat_superf/161012_corr_trat_superf.pdf>. Acessado em 11 de agosto de 2021.

PROBST, Sônia. **As formas de corrosão**. Disponível em: <<http://engenheirodemateriais.com.br/2017/04/26/as-formas-de-corrosao/>>. Acessado em 25 de outubro de 2021.

TIPOS DE CORROSÃO: SAIBA COMO DIFENCIAR CADA PROCESSO CORROSIVO. **Torino Soluzioni Ambientali**. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/247956/referencia-site-abnt-artigos/>>. Acessado em 22 de outubro de 2021.