



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

JÉSSICA CIBELLY MORAIS DE SOUZA

**CORROSÃO DO AÇO: ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO NOS DUTOS DE
AÇO DA ADUTORA DO MUNICÍPIO DE PAU DOS FERROS-RN.**

**PAU DOS FERROS – RN
2023**

JÉSSICA CIBELLY MORAIS DE SOUZA

**CORROSÃO DO AÇO: ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO NOS DUTOS DE
AÇO DA ADUTORA DO MUNICÍPIO DE PAU DOS FERROS-RN.**

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sanderlir Silva Dias

**PAU DOS FERROS – RN
2023**

© 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 tornar-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.

SJ474 Souza, Jéssika Cibelly Moraes de Souza.
c CORROSÃO DO AÇO: ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO
NOS DUTOS DE AÇO DA ADUTORA DO MUNICÍPIO DE PAU
DOS FERROS-RN / Jéssika Cibelly Moraes de Souza
Souza. - 2023.
54 f. : il.

Orientadora: Sanderlir Silva Dias Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2023.

1. Corrosão. 2. Aço. 3. Adutora. 4. Água. I.
Dias, Sanderlir Silva Dias , 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.

JÉSSIKA CIBELLY MORAIS DE SOUZA

**CORROSÃO DO AÇO: ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO NOS DUTOS DE
AÇO DA ADUTORA DO MUNICÍPIO DE PAU DOS FERROS-RN.**

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

Pau dos Ferros, 18 de Maio de 2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 SANDERLIR SILVA DIAS
Data: 19/05/2023 18:01:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias (Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 ARNAYRA SONAYRA DE BRITO SILVA CARR
Data: 22/05/2023 08:53:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Arnayra Sonayra de Brito Silva Carreiro (1ª Examinadora)

Documento assinado digitalmente
 MARCELO NASCIMENTO DE MORAIS OLIVE
Data: 22/05/2023 16:14:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Marcelo Nascimento de Moraes Oliveira (2º Examinador)

AGRADECIMENTOS

O trabalho de conclusão de curso representa o fim de uma etapa muito importante na vida de qualquer pessoa universitária que por anos enfrentou inúmeros obstáculos para alcançar seu objetivo.

Agradeço primeiramente à Deus, por não ter me permitido desistir em meio às adversidades, por ter me dado forças para chegar até aqui, e ainda, ter colocado pessoas com quem pude contar em determinados momentos difíceis vivenciados, como minhas amigas Ísis Dayara e Karízia Tuany que mesmo distantes sempre se fizeram presentes durante esse processo.

Agradeço ao apoio e confiança da minha família, em especial minha avó Maria Rita, meu pai Luiz Reginaldo e minha mãe Maria Aldeiza, meus irmãos Rutson Ruan, Vanessa Beatriz e Sávio Rian, que são a base de tudo.

In memoriam ao meu avô Ambrosio Moraes, homem guerreiro e exemplar o qual não tive a oportunidade de tê-lo presente nessa etapa importante, mas que merece toda a minha gratidão e reconhecimento.

Agradeço também à banca examinadora pelo tempo disponibilizado para contribuir com o presente trabalho e também a todos os professores pelos ensinamentos repassados durante esses anos.

A minha orientadora, Prof^a Dr^a. Sanderlir Silva Dias, por ter se disponibilizado de maneira tão gentil a me guiar nessa trajetória tão significativa e marcante, além disso, por ter compartilhado um pouco da sua experiência e sabedoria.

"Se não estivermos dispostos a pagar um preço por nossos valores, se não estivermos dispostos a fazer alguns sacrifícios para realizá-los, então deveríamos nos perguntar **se** realmente acreditamos neles."

Barack Obama

RESUMO

A corrosão em materiais metálicos é comumente vista pelo fato de ser um material que possui potenciais de oxidação maiores que o do oxigênio, que resulta na perda de elétrons para o oxigênio existente no ar. O aço, por exemplo, é um tipo de material que vem sendo cada vez mais usual no ramo da engenharia pela sua quantidade de características positivas, porém, em contrapartida, se exposto a agentes químicos e físicos agressores pode sofrer alterações negativas quanto a aparência e resistência frutos de patologias provenientes da corrosão diante dessa desproteção. Levando em consideração o estudo realizado acerca da problemática do processo corrosivo em peças metálicas dada pela interação do material com o meio em que está exposto, o presente trabalho teve como finalidade realizar um estudo de caso do processo corrosivo nos componentes hidráulicos da adutora da cidade de Pau dos Ferros-RN, que atualmente também realiza o abastecimento do município de São Francisco do Oeste-RN. Ademais, foi realizado o comparativo das alterações nos parâmetros da água que é conduzida por esse sistema e que chega para o consumo da população de ambos os municípios considerando os parâmetros disponibilizados pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte- CAERN, levando em consideração a Portaria GM/MS nº 888, de 04 de Maio de 2021. O presente estudo teve início através de pesquisas bibliográficas durante a fase de realização, com o intuito de obter maior conhecimento teórico para melhor desenvolvimento. Quanto ao quadro corrosivo das peças hidráulicas, foram avaliados dispositivos de tubulações da rede de distribuição, nesse aspecto, realizando a comparação temporal do estado de corrosão dos componentes entre o período de 2018 a 2023 através de visitas e registros fotográficos onde foram identificados tipos de corrosão uniforme, por pites, por placas, galvânica, alveolar. Os principais meios corrosivos observados foram as intempéries, umidade, o solo e oxigênio presente no ar atmosférico. Dessa forma, conforme o estudo torna-se necessária a realização de reparos nos componentes hidráulicos, como a utilização de revestimentos que apresentem em sua composição um metal mais reativo, afim de proporcionar um melhor funcionamento e preservar a qualidade da água transportada para população consumidora dos municípios atendidos.

Palavras-chave: Corrosão; aço; adutora; água.

ABSTRACT

Corrosion in metallic materials is commonly seen due to the fact that it is a material that has oxidation potentials greater than that of oxygen, which results in the loss of electrons to the oxygen in the air. Steel, for example, is a type of material that is becoming more and more common in the field of engineering due to its number of positive characteristics, however, on the other hand, if exposed to aggressive chemical and physical agents, it can suffer negative changes in appearance and resistance resulting from pathologies arising from corrosion in the face of this lack of protection. Taking into account the study carried out on the problem of the corrosive process in metallic parts given by the interaction of the material with the environment in which it is exposed, the present work aimed to carry out a case study of the corrosive process in the hydraulic components of the water main in the city of Pau dos Ferros-RN, which currently also supplies the municipality of São Francisco do Oeste-RN. In addition, a comparison was made of the changes in the parameters of the water that is conducted by this system and that arrives for consumption by the population of both municipalities, considering the parameters provided by the Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - CAERN, taking into account consideration GM/MS Ordinance No. 888, of May 4, 2021. The present study began through bibliographic research during the realization phase, with the aim of obtaining greater theoretical knowledge for better development. As for the corrosive condition of the hydraulic parts, piping devices of the distribution network were evaluated, in this regard, performing a temporal comparison of the corrosion state of the components between the period from 2018 to 2023 through visits and photographic records where types of corrosion were identified uniform, pitted, plated, galvanic, alveolar. The main corrosive media observed were bad weather, humidity, soil and oxygen present in the atmospheric air. Thus, according to the study, it becomes necessary to carry out repairs to the hydraulic components, such as the use of coatings that have a more reactive metal in their composition, in order to provide better functioning and preserve the quality of the water transported to the consuming population of the municipalities served.

Keywords: Corrosion; steel; adductor; water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Escassez de água e uso de carro-pipa	20
Figura 2: Sistema de abastecimento de água em adutoras	22
Figura 3: Adutora por gravidade conduto forçado	22
Figura 4: Adutora por gravidade conduto livre	23
Figura 5: Adutora por gravidade conduto livre	23
Figura 6: Adutora por recalque duplo	24
Figura 7: Adutora mista por recalque e gravidade	24
Figura 8: Barragem de Pau dos Ferros em quadro de esvaziamento	25
Figura 9: Dutos da adutora de Pau dos Ferros -RN sentido São Francisco do Oeste -RN	26
Figura 10: Formas (ou tipos) de corrosão segundo morfologia	31
Figura 11: Corrosão eletroquímica em aço	32
Figura 12: Dutos de aço corten	33
Figura 13: Setor de tratamento da CAERN.....	38
Figura 14: Relação entre o pH e o aumento da taxa de corrosão	42
Figura 15: Tubulações da adutora em 2018	43
Figura 16: Dutos adutora Pau dos Ferros -RN	44
Figura 17: Dutos adutora Pau dos Ferros -RN	44
Figura 18: Braçadeiras de junção da tubulação	45
Figura 19: Braçadeiras de junção da tubulação em 2018	46
Figura 20: Válvula de gaveta da adutora de Pau dos Ferros -RN	47
Figura 21: Válvula de gaveta da adutora de Pau dos Ferros -RN	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
ETA	Estação de Tratamento de Água
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente
IM	Ministério da Integração
RN	Rio Grande do Norte
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SEMARH	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
NTU	Turbidez
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVC	Polímero de adição Policloreto de Vinila
VMP	Valor Máximo Permitido
OMS	Organização Mundial da Saúde

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
Mg/L	Miligrama por litro
uT	Unidade de Turbidez
H ₂	Hidrogênio
NO ₃	Nitrato
uH	Unidade Hazen (mgPt-Co/L)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados da qualidade da água distribuída nos meses finais de 2019	41
Tabela 2: Dados da qualidade da água distribuída nos meses iniciais de 2023	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3 REVISÃO TEÓRICA.....	18
3.1 Água	18
3.2 Escassez de água no nordeste	19
3.3 Sistema de adutoras	20
3.4 Classificação dos tipos de adutoras	21
3.5 Adutora de Pau dos Ferros	25
3.6 Corrosão	26
3.7 Tipos de corrosão	27
3.7.1 Corrosão Química	27
3.7.2 Corrosão Eletroquímica	27
3.7.3 Corrosão Eletrolítica	28
3.8 Formas de corrosão segundo a morfologia	28
3.9 Corrosão em aço	32
3.10 Aço corten	32
3.11 Metodologías anticorrosivas	33
3.11.1 Uso de tintas	34
3.11.2 Proteção catódica	34
3.11.3 Proteção anódica	35
3.11.4 Inibidores de corrosão	35
4 METODOLOGIA	37
4.1 Definição dos componentes	37
4.2 Análise do processo corrosivo	37
4.3 Análise das propriedades e tratamento da água	38
4.3.1 Parâmetros analisados	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1 Comparativo da qualidade da água fornecida com o padrão normativo	41
5.2 Comparativo temporal do estado de corrosão dos componentes hidráulicos	43
5.2.1 Tubulação (Dutos)	43

5.2.2 Braçadeiras de junção	45
5.2.3 Válvula de gaveta	46
5.2.4 Parafusos dos equipamentos	47
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
7 REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A água é uma substância natural e essencial que ocupa cerca de 70% da superfície terrestre, sendo um recurso de grande importância para a manutenção da vida na terra. Segundo AZEVÊDO (2015) e de acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas, o Brasil está entre os países com baixo risco de escassez de água, porém, embora se apresente em uma situação confortável dos recursos hídricos em termos globais, existe uma distribuição espacial desigual desse recurso no território nacional.

O nordeste do Brasil por sua vez, possui como uma de características a escassez da água, o que tem ocasionado o enfrentamento de inúmeros problemas em relação ao abastecimento dessa substância em determinadas localidades, por se tratar de uma região semiárida que sofre com longos períodos de seca. Outro fator que contribui para falta desse recurso na região segundo Claudino; Diniz e Silva, (2020) é o crescimento populacional que consequentemente vem aumentando a demanda de água na superfície do planeta. Para resolução dessa problemática a técnica mais utilizada atualmente tem sido a construção de sistemas de adutoras, com a finalidade de conduzir a água de uma localidade para outra.

As adutoras são canalizações constituintes do sistema de abastecimento de água, as quais interligam as tomadas de água, estações de tratamento e reservatórios, geralmente na sequência indicada. Esse tipo de canalização não possui derivação para alimentar distribuidores de rua ou ramais prediais. No entanto, em alguns sistemas a adutora principal pode ser dividida em sub adutoras responsáveis por abastecer outros pontos do sistema (CORRÊA, 2014). Os materiais comumente aplicados para construção dessas canalizações são metálicos, que por sua vez possuem desvantagens relacionadas a deterioração do material pelo contato com os componentes químicos do fluxo que reagem formando o processo corrosivo e acarretando problemas ao sistema e a qualidade de água.

Com o avanço tecnológico mundialmente alcançado, o sistema construtivo em aço tem sido muito utilizado no Brasil por suas diversas características, tornando seu uso vantajoso comparado a outros métodos mais antigos. Por isso, o setor de construção civil por exemplo, é o que apresenta maior demanda por uso dos tubos de aço para diversas finalidades, sendo peças fundamentais para redes elétricas, redes de gás, bem como em instalações hidráulicas para condução de água, que é comumente adquirido para construção de adutoras, pois, alia uma boa resistência mecânica e durabilidade com um custo consideravelmente baixo, além de fácil instalação, tornando-se grandes aliados em obras de curto prazo. Sendo assim, os materiais a serem utilizados na construção de peças ou instalações devem levar sempre em consideração

fatores de sua composição, tendo em vista que a corrosão pode dar-se em diferentes tipos de materiais metálicos.

De acordo com Luz (2018), é muito comum nos depararmos com a corrosão nos materiais metálicos, principalmente quando esse material está exposto a meios corrosivos que favorecem seu processo de deterioração e não há qualquer tipo de revestimento que proteja ou reduza esse processo. Esse fenômeno de deterioração, por sua vez, ocorre por ação química ou eletroquímica do meio que o material está submetido, que pode ser decorrente ou não de esforços mecânicos, provocada através da interação físico-química entre o meio operacional e o material, ocasionando a degradação do mesmo.

Segundo Gentil (2017), a corrosão, em geral, é considerada como um processo que decorre de forma espontânea e frequente transformando materiais metálicos e, afetando diretamente a sua resistência, durabilidade e funcionamento, fazendo com que os materiais deixem de atender de forma satisfatória aos fins aos quais se destinam, sendo um problema muito presente no cotidiano em geral, alterando indesejavelmente as características do material.

Sabendo das possíveis problemáticas oriundas do processo corrosivo em componentes hidráulicos em sistemas de abastecimento de água, o presente trabalho exposto tem como proposição a realização de um estudo e análise mais aprofundada das formas e causas de corrosão presentes nos tubos de aço corten da adutora do município de Pau dos Ferros-RN, a fim de determinar medidas de proteção adequadas que interrompam ou minimizem o processo corrosivo presente, garantindo o tempo de vida útil dos tubos que sofrem desde sua instalação, ações dos meios corrosivos, sabendo que a mesma se apresenta como solução para população da referida cidade, bem como da cidade de São Francisco do Oeste.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Tem-se como objetivo compreender os tipos de corrosão encontrados nos tubos de aço da adutora da cidade de Pau dos Ferros-RN, identificar as possíveis causas e o nível de degradação do material no local devido a interação com o meio, além de realizar uma análise da qualidade da água que é conduzida através da mesma, determinando deste modo, as formas adequadas capazes de prevenir ou recuperar áreas afetadas pelo fenômeno corrosivo e assegurar que a água apresenta boas condições para seu destino final.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o processo corrosivo nos dutos de aço corten identificando os possíveis agentes causadores;
- Realizar a examinação do local e identificar os tipos de corrosão atuantes;
- Verificar os parâmetros físico-químicas da água conduzida pelos tubos e analisar possíveis relações com o processo corrosivo destas estruturas;
- Fazer um comparativo do cenário corrosivo do ano de 2018 com o atual;
- Fazer um comparativo da qualidade da água entre os anos de 2019 e 2023;
- Executar análises por meio de registros fotográficos;
- Apresentar propostas de soluções para a recuperação e proteção da adutora contra essas anomalias de maneira prática, viável tecnicamente e financeiramente para o caso em análise.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 ÁGUA

A água é um recurso natural essencial, o chamado solvente universal, ela permite que os seres vivos consigam sobreviver no planeta Terra, conservando as condições de vida e de biodiversidade, regulando o clima e mantendo o equilíbrio dos ciclos biológicos, geológicos e químicos. De acordo Trevizan (2022) entre os últimos dois anos, o Brasil teve a sua pior seca dos seus últimos 91 anos, superando as crises hídricas de 2002 e 2014, gerada pelo impacto do uso exagerado junto aos recorrentes períodos de seca que ocasionaram a falta desse recurso o que levou a inúmeros prejuízos.

Em 2021, a Agência Nacional de Águas declarou (ANA) declarou escassez hídrica em áreas de 5 estados do país (GO, MG, MS, PR e SP, (GOMES, 2021). O nordeste foi destaque com 80% das secas que ocorreram entre 2017 e 2020 no país, segundo a Agência Nacional de Águas, que também apontou uma diminuição das reservas nos próximos 20 anos na região (JORNAL COMUNICAÇÃO UFPR, 2022).

Nesse cenário de perda, a Declaração Universal dos Direitos da Água redigida pela ONU (Organização das Nações Unidas) em 1992, época em que já havia desperdício, salientou a importância e necessidade do consumo consciente pela sociedade através de menção de dez artigos:

- A água faz parte do patrimônio do planeta.
- A água é a seiva do nosso planeta.
- A água deve ser manipulada com racionalidade, precaução e parcimônia.
- O equilíbrio e o futuro do nosso planeta dependem da preservação da água e de seus ciclos.
- A água não é somente uma herança dos nossos predecessores; ela é, sobretudo, um empréstimo aos nossos sucessores.
- A água não é uma doação gratuita da natureza; ela tem um valor econômico: precisa-se saber que ela é, algumas vezes, rara e dispendiosa e que pode muito bem escassear em qualquer região do mundo.
- A água não deve ser desperdiçada, nem poluída, nem envenenada.
- A utilização da água implica o respeito à lei.
- A gestão da água impõe um equilíbrio entre os imperativos de sua proteção e as

necessidades de ordem econômica, sanitária e social.

- O planejamento da gestão da água deve levar em conta a solidariedade e o consenso, em razão de sua distribuição desigual sobre a Terra.

Visto isso, a água é um bem que deve ser tratado com respeito e consciência por todos, sabendo que um dos maiores desafios do nosso século é a garantia ao acesso a fontes de água para o consumo humano, bem como, para o desenvolvimento de diversas atividades do cotidiano.

3.2 ESCASSEZ DE ÁGUA NO NORDESTE

Segundo Bezerra (2016), historicamente, a região nordeste é reconhecida como a área mais propensa a longos períodos de estiagem, fenômenos estes responsáveis por infortúnios que afetam o meio ambiente e a sociedade. Sua ocorrência é, em suma, caracterizada pelo atraso na precipitação das chuvas ou pela sua ocorrência abaixo do valor mínimo necessário à sobrevivência do ecossistema, é provocada tanto por fatores climáticos (latitude, altitude, continentalidade e maritimidade, massas de ar e correntes marítimas), como fatores antrópicos (desmatamento e emissão de gases causadores do efeito estufa). Como fenômeno natural e cíclico, a seca, associada a degradação ambiental, é a responsável pela descaracterização física e social de uma determinada área.

Assim como a distribuição da água ocorre de forma desigual, as chuvas também não são distribuídas de forma homogênea na região nordeste, principalmente na porção que corresponde a região semiárida, que tem sofrido por muitos anos com baixos índices pluviométricos, o que tem gerado uma complexa situação influenciando diretamente na disponibilidade hídrica e nos níveis de reservatórios, afetando seus múltiplos usos como consumo humano, dessedentação animal, irrigação e aquicultura.

De acordo com Bezerra (2018) e de acordo com o informe de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2016) o regime fluvial brasileiro sofre variações ao longo do ano que estão estreitamente relacionadas ao regime de precipitações.

Como supracitados, os fatores climáticos têm papel relevante no ciclo hidrológico e na quantidade e qualidade da água além de sua disponibilidade, sendo muitas vezes necessário transportar a água por longas distâncias para que essa carência seja sanada. Em consequência disso, os carros-pipa foram muito utilizados durante esse período para a minimização da falta

de abastecimento de água da população (SOLDEIRA, 2022), porém, como otimização desse transporte foi adotado o emprego de técnicas de elevado custo, como a construção de sistemas de adutoras, impactando diretamente na economia, possibilitando atender de forma mais eficaz as comunidades.

Figura 1: Escassez de água e uso de carro-pipa.



Fonte: Instituto Água Sustentável, 2022.

3.3 SISTEMA DE ADUTORAS

A região nordeste do país tem sofrido nos últimos anos constantes crises hídricas que tem ocasionando a falta de água para atividades essenciais à população de diversas localidades, gerando a necessidade de buscar mananciais que realizem a distribuição e atenda essa falta, fazendo a alocação de recursos disponíveis para determinado território.

Em concordância com Bezerra (2018) a crise hídrica brasileira foi acentuada por fatores como:

- Extenso desmatamento da vegetação nativa, devastação do solo, bem como do subsolo, sem a devida gestão;
- Expansão demográfica;
- Desperdício dos recursos naturais;
- Aquecimento global (fenômeno natural), acelerado pelas ações antrópicas;
- Poluição de rios, mares e outras fontes hídricas;

Com base nessa problemática, tem sido adotada a técnica mais difundida nos dias atuais, que é a construção de sistemas de adutoras, levando em consideração sua viabilidade econômica e estratégica. Elas podem ser descritas como apenas tubos que auxiliam no transporte de água de um lugar para outro ou como “canalizações dos sistemas de abastecimento e destinam-se a conduzir água entre as unidades que precedem à rede distribuidora” (DCALDEIRA, 2014). Esse mecanismo tem possuído grande importância por tornar a distribuição do recurso mais acessível comparado a décadas passadas, graças ao crescimento da tecnologia e dos conhecimentos biológicos e às técnicas da engenharia mediante a planejamentos de acordo com a demanda.

A adutora do município de Pau dos Ferros-RN foi tida como uma solução para a população da cidade, visto que a barragem que atendia a mesma secou como consequência do longo período de seca na região, trazendo problemas de consumo humano e afetando a realização de atividades realizadas pelo comércio de acordo com (OLIVEIRA, 2018).

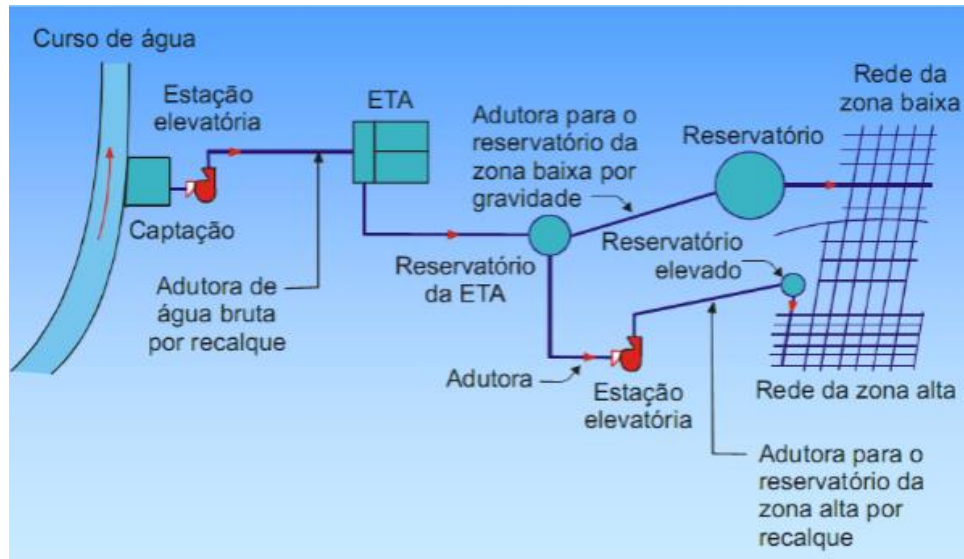
Devido a essa grande importância é preciso que se tenha cuidados para prevenir acidentes, que venham causar interrupção do funcionamento da adutora, desde a fase do projeto e execução das obras, e se estender por toda vida útil do sistema através de um controle operacional adequado (SILVA-B, 2018).

3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE ADUTORAS

Um sistema de abastecimento de água (SAA) em geral é composto por manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição.

Segundo Dcaldeira (2014) a classificação dos tipos de sistemas de adutoras leva em consideração alguns parâmetros, um deles é a natureza das águas que irão ser transportadas como demonstra a figura 1 abaixo:

Figura 2: Sistema de abastecimento de água em adutoras.



Fonte: Queiroz, 2020.

- **Adutora de água bruta**- Transporta a água da captação até a Estação de Tratamento (ETA). Compreende a água captada antes de receber qualquer tipo de tratamento.
- **Adutora de água tratada** - Transporta a água da ETA aos reservatórios de distribuição. Compreende a água captada depois de receber tratamento.

Outro fator a ser levado em consideração é a energia de movimentação da água, às quais podem ser adutoras por gravidade, recalque ou mistas segundo (Funasa, 2004):

- **Adutora por gravidade** - em conduto forçado (tubos sujeitos a pressão superior à atmosférica);

Figura 3: Adutora por gravidade conduto forçado.

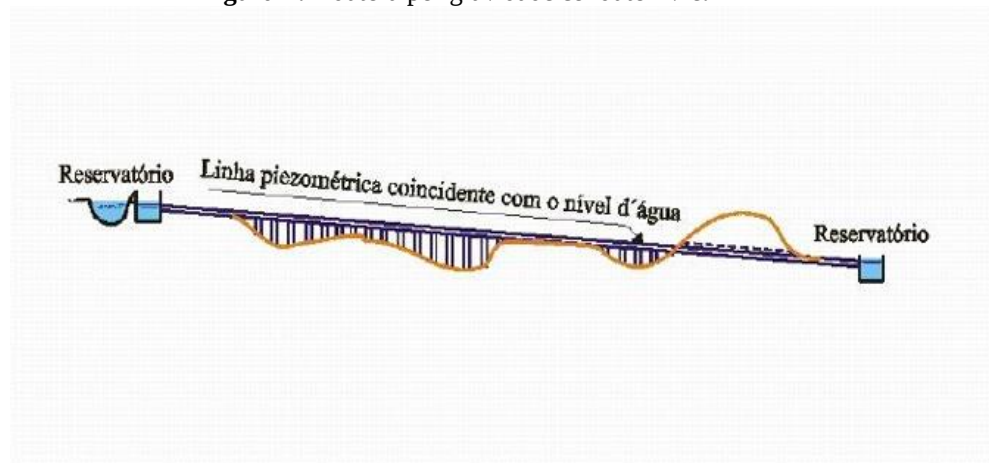


Fonte: Guedes, 2019.

- **Adutora por gravidade** - em conduto (canais, aquedutos ou tubos sujeitos à pressão

atmosférica – muito pouco usados atualmente).

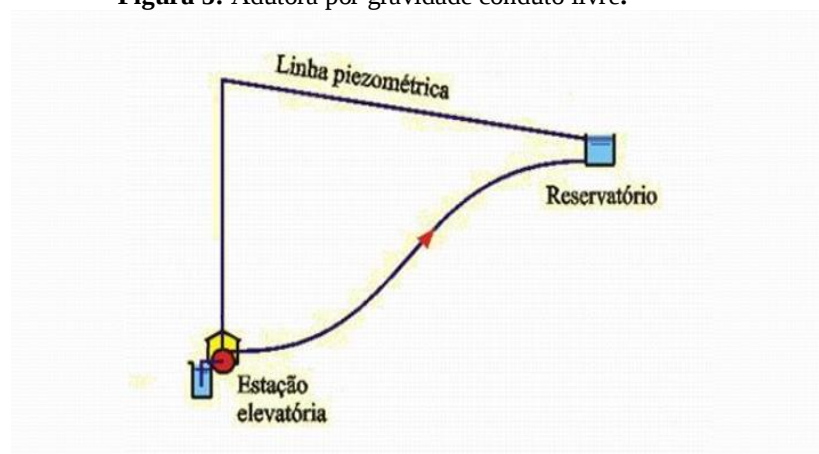
Figura 4: Adutora por gravidade conduto livre.



Fonte: Guedes, 2019.

→ Adutora por recalque - Simples

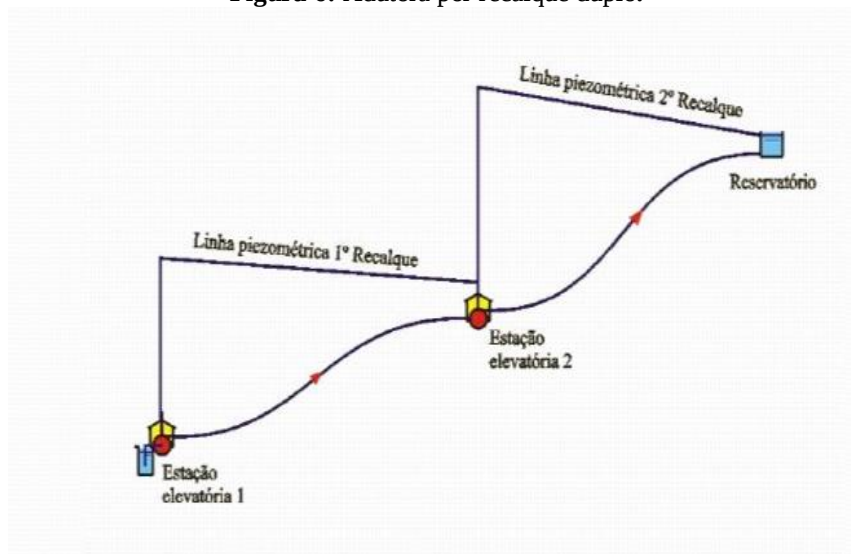
Figura 5: Adutora por gravidade conduto livre.



Fonte: Guedes, 2019.

→ Adutora por recalque - Duplo

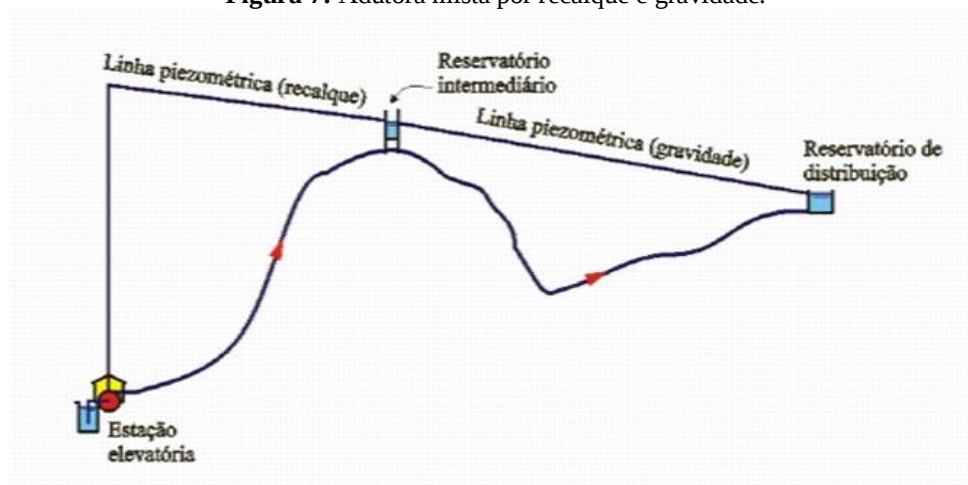
Figura 6: Adutora por recalque duplo.



Fonte: Guedes, 2019.

→ **Adutoras mistas** (com trecho por recalque e outro por gravidade, ou vice-versa).

Figura 7: Adutora mista por recalque e gravidade.



Fonte: Guedes, 2019.

3.5 ADUTORA DE PAU DOS FERROS

A adutora do município de Pau dos Ferros-RN foi tida como uma solução para a população da cidade, visto que a barragem que atendia a mesma secou como consequência do grande período de seca na região, trazendo problemas de consumo humano e afetando a realização de atividades realizadas pelo comércio.

Figura 8: Barragem de Pau dos Ferros em quadro de esvaziamento.



Fonte: Dantas, 2015.

Nesse contexto crítico de falta de água, foi necessário realizar a construção emergencial do sistema de adutora de engate rápido, com tubos metálicos possuindo um diâmetro de 300 mm de acordo com o engenheiro responsável da CAERN Anderson Araújo de Sousa. Tal obra atende a população da referida cidade juntamente com mais de vinte municípios da região foram atendidas pelo município de Apodi-RN durante muito tempo, através da captação da barragem Santa Cruz. A água transportada tinha um uso extremamente restrito, sendo liberada pela CAERN apenas em dias determinados para cada setor da cidade.

De acordo com o (IDEMA, 2016):

“A Secretaria Estadual do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (Semarh), responsável pela execução da obra, e o Ministério da Integração (MI), responsável financeiro, liberaram a Companhia de Abastecimento de Águas e Esgotos do RN (Caern) para começar a operar o sistema, antes da sua conclusão total, no intuito de normalizar o abastecimento de água nos municípios que se encontravam em colapso”.

Na figura 9 a seguir apresenta um trecho da tubulação da adutora instalada emergencialmente para o abastecimento dos municípios em crise.

Figura 9: Dutos da adutora de Pau dos Ferros -RN sentido São Francisco do Oeste -RN.



Fonte: Autora, 2022.

Vale ressaltar que, de acordo com o engenheiro responsável da companhia aos poucos está sendo realizada a troca desses dutos de aço corten por tubos de PVC dfofo fabricado em policloreto de vinila modificado que possui um diâmetro menor de 150 mm. Essa modificação será suficiente para atender a cidade de São Francisco do Oeste-RN, município em que sua situação de abastecimento durante esses anos de crise dependia totalmente do cenário de Pau dos Ferros-RN.

3.6 CORROSÃO

A corrosão é um processo interfacial e irreversível, é também um termo muito usado para designar a deterioração gradativa de maneira total, parcial ou superficial de materiais, geralmente os metais, ocasionada por um processo eletroquímico, químico ou eletrolítico, resultante da ação do meio sobre o material na se qual transfere elétrons de uma área para outra. Ela é a deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso (GENTIL, 2007).

A corrosão é comumente definida como o enferrujamento de peças metálicas empregadas em processos construtivos, no qual o produto oxidado apresenta uma tonalidade avermelhada, a formação dessa tonalidade ocorre pelas modificações químicas e físicas do metal envolvido, influenciando diretamente no rendimento dos equipamentos e gerando prejuízos econômicos, pelo fato de ser um “[...] processo eletroquímico que produz degradação e perda de propriedades químicas, físico-químicas ou mecânicas do material metálico” (OLIVEIRA, 2012), se tornando um desafio para o homem pela frequência em que esse processo de faz presente no cotidiano, onde em países industrializados as perdas econômicas por processo de corrosão correspondem a cerca de 3,5% do PIB (SINERGIA, 2021).

3.7 TIPOS DE CORROSÃO

Como já supracitado, o termo é geralmente utilizado para apontar danos causados pelo processo de decomposição do material metálico ou liga corroído de maneira superficial, total ou parcial, pela exposição ao meio onde está sujeito a ataques químicos, eletrolíticos ou eletroquímicos, na qual a corrosão é classificada conforme o meio de atuação em que o material está inserido, existindo três grandes grupos de formas do meio agir sobre o material, onde em cada meio haverá uma reação diferente.

3.7.1 Corrosão Química

Esse tipo de corrosão também pode ser chamado de corrosão seca ou meio não aquoso, sucede do ataque de um agente químico diretamente sobre o material, o qual não necessita da presença de água. Segundo Gentil (2017) é “aquela em que há reações diretas entre o material metálico ou não metálico ao meio corrosivo, não havendo geração de corrente elétrica”, onde, a troca de elétrons de uma área para outra e não ocorre por meio de uma corrente elétrica e sim através da reação entre oxigênio e outros gases produzindo uma fina camada de óxido e quando a umidade presente na atmosfera reage com ela a mesma é quebrada, sendo muito comum em ambientes industriais envolvendo temperaturas elevadas.

3.7.2 Corrosão Eletroquímica

De acordo com Lira (2021) a corrosão eletroquímica está relacionada à passagem de corrente elétrica em forma de íons e elétrons, a certa distância pelo material metálico. A corrosão eletroquímica também denominada corrosão em meio aquoso, envolvendo reações de oxirredução onde ocorre a transferência de elétrons, é definida para casos em que acontece um

transporte de forma simultânea de eletricidade através de um eletrólito.

Os processos de corrosão eletroquímicas são os mais presentes na natureza, pois ao contrário da corrosão química esse grupo necessita da presença de água e temperatura ambiente abaixo do ponto de orvalho da água, o mesmo ocorre de forma espontânea quando o metal entra em contato com o meio eletrolítico, ademais, por meio da formação de pilhas ou célula de corrosão, com a circulação de elétrons na superfície metálica, estando presente em todos os locais onde se vê ferrugem, como em equipamentos industriais e tubulações.

Porém, ainda segundo (LIRA. M.F., 2021) e (PANNONI, F. D., 2011) quando não se tem o eletrólito líquido, o movimento dos íons se dá através da formação de uma película de óxido metálico na superfície do material, e assim, passando a funcionar como eletrólito sólido, garantindo a natureza eletroquímica da reação.

3.7.3 Corrosão Eletrolítica

Segundo Gentil (2011), “esse tipo de corrosão é chamado de corrosão por eletrólise ou eletrolítica e pode ser definida como a deterioração da superfície de um metal forçada a funcionar como anodo ativo de uma cuba ou pilha eletrolítica”.

É um processo eletroquímico que ocorre quando existem uma fuga de correntes elétricas externa proveniente de deficiências, isolamentos ou aterramentos, essas correntes de fuga escapa para o solo e se formam pequenos furos nas instalações e podem causar maiores danos principalmente se forem contínuas ou alternadas de baixa frequência (GENTIL, 2017), o qual podem causar maiores prejuízos modificando a estrutura do material, sendo também uma corrosão não espontânea como os outros tipos, a qual pode ser vista com frequência em tubulações de água potável como a que será o objeto de estudo.

3.8 FORMAS DE CORROSÃO SEGUNDO A MORFOLOGIA

A corrosão pode ocorrer sob diferentes formas ou tipos no que se refere a morfologia, a corrosão em duto pode ser classificada como:

➤ Corrosão Uniforme

Que ocorre de maneira igual em toda extensão da superfície metálica estando exposta a meios corrosivos, sucedendo uma perda uniforme na espessura (GENTIL, 2017), de acordo com Luz (2018) “ A corrosão uniforme é uma das mais fáceis de controlar, de ver, de proteger, alguns exemplos incluem a corrosão generalizada no aço e no ferro e o escurecimento em

pratarias. Essa é provavelmente a forma mais comum de corrosão”.

➤ **Corrosão em Placas**

Essa forma de corrosão é considerada como um processo de desgaste localizado, podendo se dar em regiões onde o material não está protegido ou sujo, gerando o desprendimento das placas que acontece em decorrência do crescimento da corrosão na área. Dessa forma, a corrosão por placas acomete apenas algumas regiões da superfície, formando placas com escavações; (GENTIL, 2017).

➤ **Corrosão Alveolar**

Esse é um tipo de corrosão que trata de um fenômeno localizado, causado pela presença de soluções de sais halógenos. Se processa na superfície metálica produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos apresentando fundo arredondado e profundidade menor que o diâmetro (GENTIL, 2011).

➤ **Corrosão Puntiforme (pite)**

Também conhecida como (conhecida como pitting corrosion), esse tipo de corrosão é um dos mais destrutivos podendo causar a perfuração do material, processa-se em pontos ou em pequenas áreas de uma superfície metálica, produzindo o que chamamos de “pites”, que são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior do que o seu diâmetro (COELHO, 2015).

“A corrosão puntiforme ou por pites é uma forma localizada de ataque corrosivo, na qual pequenos pites se formam. Ordinariamente, eles penetram a partir do topo de uma superfície horizontal para o interior do material em uma direção praticamente vertical.” (CALLISTER, 2010, p. 592).

➤ **Corrosão em Frestas**

É um tipo de corrosão localizada, semelhante a corrosão por pites, que ocorre em espaços confinados, como por exemplo em conexões que utilizam parafusos, rebites e entre outros. A corrosão por frestas, especificamente, é um tipo de corrosão localizada que ocorre em aberturas estreitas existentes entre duas superfícies de itens industriais metálicos, formando uma camada passiva e rupturas nesses locais, dependendo do nível dessas rupturas, esse tipo de corrosão pode ocasionar a perfuração da superfície exposta do aço, o que interfere diretamente no desempenho de peças e maquinários de acordo com (SULCROMO, 2021).

➤ **Corrosão Intergranular (ou intercristalina)**

Se processa pela presença de carbonetos precipitados nos contornos de grão do material base, entre os grãos da rede cristalina do material metálico, o qual perde suas propriedades mecânicas e pode fraturar quando solicitado por esforços mecânicos (SODERO, 2020), esse fenômeno também é conhecido como sensitização.

➤ **Corrosão Intragranular (ou transgranular ou transcristalina)**

Esse tipo de corrosão, segundo Gentil (2011) “se processa nos grãos da rede cristalina do material metálico”. Ocorrendo nos grãos de um metal policristalino, que quando perdem suas propriedades mecânicas, podem se fraturar à menor solicitação mecânica (COELHO, 2015), tendo-se também corrosão sob tensão fraturante.

➤ **Corrosão Filiforme**

Se processa sob a forma de finos filamentos, mas não profundos, que se propagam em diferentes direções e que não se cruzam. Ocorre geralmente em superfícies metálicas revestidas com tintas ou metais, ocasionando o deslocamento do revestimento, Pode estar relacionada com a umidade do ar, geralmente maior do que 85% (SODERO, 2020).

➤ **Corrosão por Esfoliação**

Seu processamento ocorre de forma paralela à superfície metálica, acometem diferentes camadas, a característica dessa forma é a laminação paralela à superfície, em que o produto de corrosão fica entre a estrutura dos grãos alongados, promovendo então, a separação e inchamento das camadas do metal; conforme (GENTIL, 2017), o produto de corrosão tem um certo volume e leva a separação das camadas contidas entre as regiões que sofrem ação corrosiva (SODERO, 2020).

➔ **Corrosão Grafítica**

A corrosão grafítica é um tipo de corrosão seletiva que ocorre em ferros fundidos sendo caracterizada pela dissolução seletiva do ferro resultando, na área atacada da liga, uma massa porosa de grafita (PANOSSIAN, 1995), se processa no ferro fundido cinzento em temperatura ambiente e o ferro metálico é convertido em produtos de corrosão, restando a grafita intacta (SODERO, 2020).

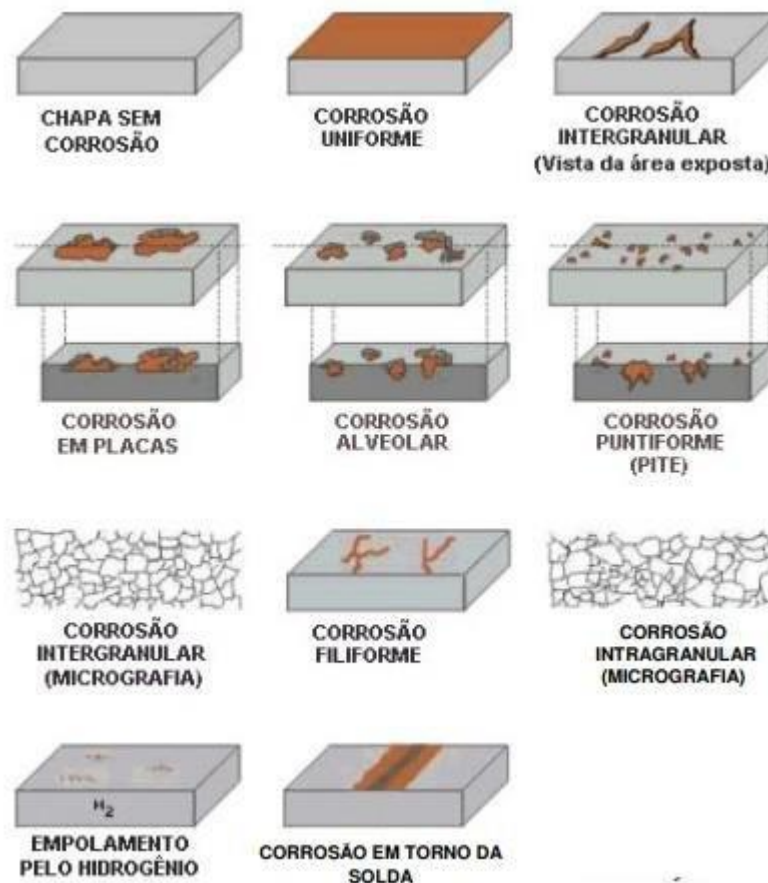
→ Empolamento pelo hidrogênio

O hidrogênio no estado atômico tem grande capacidade de difusão em materiais metálicos, ele penetra no material, e como tem pequeno volume atômico, difunde-se rapidamente em regiões com descontinuidades, ele se transforma em hidrogênio molecular (H_2), exercendo pressão e originando uma formação de bolhas (GENTIL, 2011).

→ Corrosão em Torno do Cordão de Solda

Esse tipo de corrosão se dá em aços inoxidáveis não estabilizados ou com teores de carbono acima de 0,03% e a corrosão se processa intergranularmente entre os grãos (GENTIL, 2011).

Figura 10: Formas (ou tipos) de corrosão segundo morfologia.



Fonte: Araújo, 2012.

3.9 CORROSÃO EM AÇO

Uma das maiores problemáticas resultantes da exposição do aço ao meio ambiente é a corrosão, como sendo um fenômeno químico que provoca danificações e alteração das

propriedades mecânicas do metal, os materiais metálicos são representados por reação de redução e oxidação, atuando como redutor fornecendo elétrons recebidos pelo agente oxidante, o mecanismo mais comum que resulta na degradação metálica é a corrosão eletroquímica em meios aquosos, justamente pela exposição ao meio onde a água é o principal agente contribuinte para o desenvolvimento. PANOSSIAN (1993) definiu de forma objetiva como demonstra a Figura 11 a corrosão metálica como sendo uma reação que envolve energia, sendo espontânea se o material ou o meio perder energia.

Figura 11: Corrosão eletroquímica em aço.



Fonte: Sulcromo, 2020.

3.10 AÇO CORTEN

Os aços patináveis ou aços corten possuem uma pigmentação vermelho-ferrugem como apresentado na Figura 12 e são um tipo de aço estrutural que apresenta alta resistência em relação ao aço comum. Ele contém pequenas adições de elementos de liga tais como carbono, manganês, silício, fósforo e enxofre (Pannoni, 2002).

São comumente adotados em projetos da construção civil devido a sua diversificidade de aplicações sejam elas externas ou internas, em detrimento de em determinadas condições ambientais contribuem para formação de uma pátina protetora de ações corrosivas na atmosfera, através de uma camada de óxido que amplia as propriedades anticorrosivas do material,

rejeitando a entrada de umidade e oxigênio. De acordo com (Pannoni, 2002), o grande estímulo à utilização de aços enriquecidos com esses tipos de elementos foi através da companhia norte-americana United States Steel Corporation que, no início da década de 1930, que desenvolveu o aço nomeado comercialmente como Cor-Ten.

Com relação a resistência, depende das características atmosféricas em que o material esteja inserido, vale ressaltar que a aplicação dessa técnica metalúrgica só pode ser utilizada para materiais que possuem elementos de liga, como é o caso do aço.

Figura 12: Dutos de aço corten.



Fonte: DeFato.com, 2021.

3.11 METODOLOGIAS ANTICORROSIVAS

Uma condição de grande relevância que deve ser considerada e analisada no planejamento e desenvolvimento de um é a possibilidade de surgimento de um processo corrosivo. Sendo assim, é fundamental fazer uma análise de a quais fatores esse material vai estar exposto, para que se possa impedir futuros danos relacionados ao funcionamento e prejuízos financeiros.

3.11.1 Uso de tintas

Um dos métodos mais adotados para proteção de materiais metálicos é o uso da tinta, que é uma composição líquida que se aplica superficialmente, de fácil aplicação e baixo custo. De acordo com Frauches-Santos, C. *et al* (2014) a tinta é formada por uma mistura de veículo

e pigmentos, onde o veículo é composto de resina, solvente e alguns coadjuvantes como plastificantes, catalisadores e secantes.

As resinas geralmente utilizadas são:

- Alquímicas
- Epoxídicas
- Fenólicas
- Poliuretânicas
- Vinílicas

Ainda segundo Frauches-Santos, C. (2014) às características deste revestimento são sua facilidade de reparos localizados, não permite infiltrações, equipamentos de suporte simples, monolítico (sem emendas) e rápida aplicação.

É um processo que pode servir como prevenção e correção, que só deve ser aplicado com uma base preparada e limpa adequadamente, sendo feita a aplicação da tinta de fundo ou primer para gerar maior aderência ao substrato antes aplicação do revestimento, e para esse processo de limpeza podem ser utilizadas de forma manual e mecânica através de (lixa, escovas de aço e raspadores), mecânica (escovas rotativas, pneumáticas, elétricas) ou jateamento, sendo a forma mais eficaz para remoção de impurezas das superfícies (LIRA. M.F., 2021).

A proteção dos materiais metálicos pode ainda ser realizada por meio da aplicação de uma corrente anódica ou impedindo a difusão de oxigênio através de processo catódico:

3.11.2 Proteção catódica

Segundo Barbosa (2012) apud Oliveira (2018) “a proteção catódica é um método de proteção contra a corrosão de estruturas enterradas ou submersas baseado no princípio básico de formação das pilhas (corrosão eletroquímica)”. A forma para que uma tubulação seja protegida através desse método pode ser de dois tipos, que de acordo com Gentil (2017) seria a proteção catódica por corrente impressa e proteção catódica galvânica.

A proteção catódica por corrente impressa é um método que utiliza uma fonte externa geradora, sendo sistema composto basicamente por retificadores alimentados por corrente alternada, leitos de anodos, drenagens elétricas e pontos de teste (GENTIL, 2017). Eletroquimicamente, corrente iônica da região anódica artificial que se forma que se cria no

material, rebaixa o potencial natural tornando catodo onde ocorre a reação de redução, sem perda de massa, dessa maneira tornando o material protegido do fenômeno da corrosão, havendo uma formação de película passivante.

Já a proteção catódica galvânica possui semelhanças com a proteção supracitada, porém, essa metodologia se baseia na transferência de fluxo elétrico entre os metais envolvidos, e não necessita de uma fonte externa para o fornecimento de corrente.

3.11.3 Proteção anódica

Conforme Frauches-Santos, C. et al (2014), em 1954 Edeleanu um químico romero, propôs a possibilidade do emprego a proteção anódica, que baseia-se na formação de uma película protetora nos materiais metálicos por aplicação de uma corrente anódica externa, a qual aciona polarização possibilitando a passivação do material, além disso, mantém a estabilidade desta película.

Segundo Lira. M.F, (2012) apud Gentil (2017) “essa técnica só poderá ser utilizada em metais ou ligas que no meio considerado, ocorre a transição ativo/passivo, ou seja, se passivo, como o ferro, níquel, cromo, titânio e suas ligas, caso contrário, pode ocorrer o aumento da velocidade de corrosão”. Essa é uma técnica muito utilizada para proteção de materiais metálicos enterrados ou semi-enterrados como é o caso do sistema de adutoras.

3.11.4 Inibidores de corrosão

Também é um dos métodos mais adotados por indústrias para minimizar ou prevenir processos corrosivos específicos pela sua facilidade de aplicação, podendo atuar tanto no tratamento inicial do fenômeno como no período de propagação, minimizando a taxa de corrosão.

De acordo com Frauches-Santos, C. et al (2014), são substâncias orgânicas ou inorgânicas, que quando adicionadas ao meio corrosivo evitam ou diminuem o desenvolvimento das reações de corrosão. Os materiais básicos que são utilizados como princípios ativos para formulação desses inibidores são: ácidos graxos, ácidos naftênicos, aminas orgânicas, cromatos, polifosfatos, nitritos, sulfitos, sais de zinco e de estanho (ABRACO, 2007).

Os inibidores corrosivos podem ser:

- **Anódicos:** favorecem a formação e a manutenção de películas sobre a superfície metálica e influenciam as reações de oxidação do metal.

- **Catódicos:** inibem as reações catódicas através de mecanismos como a mistura de oxigênio na solução, no qual resulta em elementos insolúveis depositados sobre a superfície do metal.
- **Mistos:** atua nessas duas condições supracitadas ao mesmo tempo, formando uma película por adsorção sobre a superfície do aço.

4 METODOLOGIA

4.1 DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES

Os componentes do sistema de abastecimento em estudo e suas características de projeto

são:

Manancial: barragem Dr. Pedro Diógenes Fernandes é um provedor do recurso hídrico;

Captação superficial: é o transporte da água do manancial através do bombeamento, esse procedimento mecânico é acionado quando for atingido o nível mínimo de água no açude;

Adutora de água bruta ou Tomada de água: é o conjunto de tubulações, as quais através de bombas hidráulicas, locadas na EB (Estação de bombas flutuantes) promovem o deslocamento da água do manancial, por recalque;

Estação de tratamento: do tipo convencional, com mistura rápida, floculadores mecanizados, decantador tubular e filtros rápidos;

Sistema adutor de recalque/gravidade: trata-se de um sistema em que deve funcionar tanto por gravidade quanto por recalque, a definição é baseada de acordo com a topografia do local e também da disponibilidade volumétrica de água no manancial;

Reservatórios: do tipo elevado e apoiado, torre de comando, esses recebem água, posteriormente, realizam a distribuição ou reserva para emergências;

Rede de distribuição: é o sistema hidráulico de tubulação, em que faz a ramificação e distribuição do recurso hídrico até as unidades consumidoras.

4.2 ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO

A pesquisa inicialmente levou em consideração registros fotográficos realizados em outubro de 2022 e abril de 2023 junto a comparação com registros de 2018 e estudos bibliográficos dando enfoque ao processo corrosivo, realizando-se um levantamento de definições, dados e informações necessárias para o estudo, que foram adquiridas em livros, revistas, artigos, sites da internet, trabalhos de conclusão de curso, além de outros materiais.

O estudo de caso de forma mais aprofundada ocorreu numa adutora localizada entre os municípios de Pau dos Ferros-RN e São Francisco do Oeste-RN, o qual foi realizado por meio de vistorias e registros fotográficos dos fatores que comprovem o processo de deterioração do material.

4.3 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES E TRATAMENTO DA ÁGUA

De acordo com informações obtidas através de uma reunião realizada com o engenheiro da sede da CAERN localizada em Pau dos Ferros, antes que haja a distribuição da água para o público ela passa por um acompanhamento por meio de análises físico-químicas, possuindo um

ponto de reforço desinfecção relacionadas ao cloro na chegada a São Francisco do Oeste.

Essas verificações são realizadas semanalmente ou quinzenalmente pelos operadores e a cada seis meses é feita uma análise mais completa que é enviada para capital do estado. Os resultados dessas análises são disponibilizados a população mensalmente por meio do papel de conta de água e também através do site da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, a quantidade de amostras vai de acordo com o porte da cidade e de acordo com a OMS (Organização Mundial da Saúde) e as diretrizes nacional do plano de amostragem.

Na Figura 13 adiante apresenta a localidade onde são realizados procedimentos de tratamento da água:

Figura 13: Setor de tratamento da CAERN.



Fonte: Autora, 2023.

Em suma, há diversos parâmetros pelos quais pode e deve ser analisada a água com relação à qualidade, para que se consiga assegurar que a água ofertada é de confiança para consumo, pois impacta diretamente na qualidade de vida da população e no comércio. A RDC nº 274 da Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) determina ainda que as características microbiológicas devem atender ao Regulamento Técnico específico e não devem ter concentrações acima do limite máximo permitido das substâncias químicas na água (ISOMETRIA, 2020).

Dessa forma, a verificação desses parâmetros foi realizada através do site da CAERN e da observação de papéis de conta de água que chegam às residências dos moradores de Pau dos Ferros-RN mensalmente, os quais esses dados são disponibilizados para acesso da população

demonstrando se a água apresenta ou não os valores desejados.

4.3.1 PARÂMETROS ANALISADOS

➤ **Potencial hidrogeniônico - pH**

Esse é um parâmetro muito importante para análise da qualidade da água, esse potencial representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido por meio da medição da presença de íons de hidrogênio (H^+) de acordo com (OLIVEIRA, 2018). Valores acima de 7 (até 14) indicam o aumento do grau de alcalinidade e abaixo de 7 (até 0) o aumento do grau de acidez do meio. A Portaria nº. 518/2004 do Ministério da Saúde recomenda que o pH da água seja mantido entre 6,0 e 9,0, bem como, a Resolução CONAMA 357 que estabelece que para a proteção da vida aquática seja considerada essa margem (ANA, 2010).

➤ **Coliformes totais**

São encontrados naturalmente no meio ambiente, a presença dessa característica não implica que a água esteja prejudicada, porém, pode indicar a presença de bactérias potencialmente patogênicas (MicroAmbiental, 2021). A Portaria de Consolidação Nº 5, de 2017, estabelece para esse parâmetro que a água potável deve obter ausência de Coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli* em 100 ml de amostra e ausência de bactéria do grupo coliformes totais em 100 ml.

➤ **Cloro residual livre**

Conhecer o teor de cloro ativo que permanece após a definição (cloração) da água, permite garantir a qualidade microbiológica da água, ou seja, se ela está ou não em condições de uso (TRATAMENTODEAGUA, 2017).

Segundo a Lei 1469 em seu Art. 13º “Após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição”, (FUNASA, 2001). O recomendado é 2,0 mg/L de teor de cloro residual livre para qualquer sistema de distribuição.

➤ **Análise de coloração da água**

É considerada um elemento incolor, suas variações de tonalidades é causada por substâncias dissolvidas como compostos orgânicos, adverso à turbidez. A Portaria nº518/2004 do Ministério da Saúde 33 estabelece, para cor aparente, o valor máximo de 15 uH como padrão de aceitação para consumo humano (AGUABRASIL, 2010).

➤ **Nitrato**

O Nitrato (NO_3) é a composição de Nitrogênio e Oxigênio. Os nitratos são tóxicos aos seres humanos, e em altas concentrações causa uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças (ANA, 2010), podem ser encontrados no ar, dejetos animais, solo e água. Dessa forma, o nitrato é padrão de potabilidade, sendo 10 mg N- NO_3/L o valor máximo permitido pela Portaria 518-2004 do Ministério da Saúde.

➤ **Turbidez**

Oliveira (2018) classifica como sendo uma característica que reflete o grau de transparência da água. Ela indica o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água, esta atenuação ocorre pela absorção e espalhamento da luz causada pelos sólidos em suspensão (ANA, 2010), provocada por partículas em suspensão (sólidos). A Portaria nº.518/2004 do Ministério da Saúde estabelece que a turbidez da água, na rede de distribuição, não ultrapasse 5,0 UT (Unidades de Turbidez), (AGUABRASIL, 2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Comparativo da qualidade da água fornecida com o padrão normativo

Sabendo que segundo a Anexo XX da PORTARIA GM/MS Nº 888, de 4 de Maio de 2021 no Art. 3º retrata que “toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente

por meio de sistema, solução alternativa coletiva de abastecimento de água ou carro-pipa, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água”, o presente trabalho visa apresentar parâmetros de sua qualidade no atual cenário e fazer um comparativo com o período de 2018 e 2019 entendendo as possíveis interferências do resultado obtido.

Diante dos dados apanhados da qualidade da água que é distribuída no sistema de abastecimento de Pau dos Ferros-RN, fornecidos através da conta de água e site da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - CAERN é possível realizar comparativo com os valores estabelecidos na Portaria GM/MS N° 888, de 04 de Maio de 2021 descrita acima. Tais parâmetros disponibilizados pela própria Companhia de água para serem analisados foram: pH, cor, turbidez e cloro residual, nitrato, coliformes totais mostrados nas Tabelas 1 e 2 abaixo, fazendo um comparativo da água distribuída em 2019 e 2023 pelo sistema de abastecimento.

Tabela 1: Dados da qualidade da água distribuída nos meses finais de 2019.

Parâmetro Analisado	Set	Out	Nov	Dez	Recomendado
Cloro Residual	0.85	0.13	2.62	2.94	0,2 a 2,0 mg/L
Cor	110	25.05	33.87	35.8	< 15,0 UC
pH	6.22	7.13	6.94	6.48	6,0 a 9,5
Turbidez	21.48	11.42	9.7	3.04	< 5.0 NUT
Coliformes Totais	90	42.86	100	85	% de ausência

Fonte: Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - CAERN.

Tabela 2: Dados da qualidade da água distribuída nos meses iniciais de 2023.

Parâmetro Analisado	Jan	Fev	Mar	Abr	Recomendado
Cloro Residual	2.75	2.75	1.29	3.12	0,2 a 2,0 mg/L
Cor	14.04	14.04	14.31	12.51	< 15,0 UC
pH	7.41	7.41	7.38	7.28	6,0 a 9,5
Turbidez	3.42	3.42	4.21	2.71	< 5.0 NUT
Coliformes Totais	100.0	100	100.0	100	% de ausência
Nitrato	10 mg/L	10 mg/L	10 mg/L	10 mg/L	VMP: <10mg/L

Fonte: Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - CAERN.

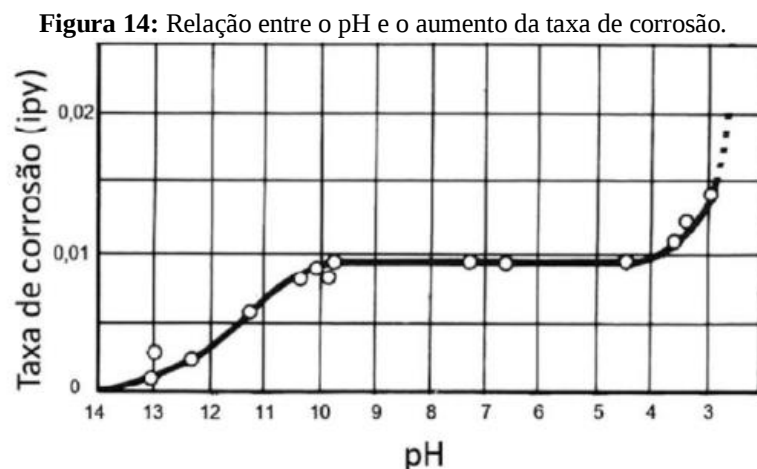
De acordo com as informações e valores conseguidos relacionados a água distribuída, ou melhor, com os parâmetros da água que sai diretamente da estação de tratamento para os consumidores, é possível fazer um comparativo com a regulamentação efetiva que apresenta os valores padrão ideais para a finalidade do consumo humano.

Pode-se perceber que em 2019 de acordo com as análises realizadas pela CAERN nos últimos quatro meses do ano, quase todos os valores obtidos com relação a cloro residual, cor,

pH, turbidez e coliformes totais não estavam de acordo com o recomendado para consumo.

O pH de em média 6,69 esteve de acordo com a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, que recomenda que o pH da água seja mantido entre 6,0 e 9,0. Segundo Oliveira (2018), para valores de pHs entre 4 e 10, a taxa de corrosão independe do pH e depende somente da rapidez com que o oxigênio difunde para a superfície metálica.

Na figura 14 a seguir demonstra a relação entre o pH e o aumento da taxa de corrosão:



Fonte: Gentil (2011).

Com relação a turbidez em 2018 pode-se observar taxas acima do desejado, que podem ser provocadas por partículas em suspensão, como organismos microscópicos ou colóides, já a cor que apresentou seus valores mensais altamente elevados que são provocados por substâncias dissolvidas na mesma. Os coliformes totais se demonstrou presente o que pode ser ocasionado presença sujeiras, podendo ser no reservatório de água, ou tubulações, vale apontar que já em 2018 as tubulações apresentavam um processo corrosivo devido sua exposição ao meio.

Figura 15: Tubulações da adutora em 2018.



Fonte: Oliveira (2018).

Já no cenário atual de 2023 em que São Francisco do Oeste e Pau dos Ferros estão sendo abastecidos pelo reservatório da Pau dos Ferros-RN não sendo mais atendidos pela barragem de Apodi- RN em detrimento do aumento das chuvas na região e acúmulo de água em 2022 e 2023, no qual após 14 anos, no dia 5 de Maio de 2023, a barragem de Pau dos Ferros atingiu sua capacidade máxima de 100% chegando a transbordar.

Como visto na Tabela 2 as propriedades se encontram dentro do valor máximo permitido e de suas recomendações, com exceção do cloro residual nos meses de janeiro, fevereiro e abril, onde o cloro residual apareceu em níveis um pouco acima do valor máximo permitido, esse indicador é usado para ação desinfetante por determinado tempo após aplicação e serve para controle no sistema ao longo da rede. Vale ressaltar que adutoras e tubulações danificadas podem contribuir para contaminações e influenciarem nas oscilações da concentração de cloro utilizado.

5.2 Comparativo temporal do estado de corrosão dos componentes hidráulicos

5.2.1 Tubulação (Dutos)

Na situação do componente metálico no atual período de 2023, verificou-se diferentes tipos de corrosão no material, como a corrosão uniforme, visto que a mesma se dá por toda a extensão da superfície, também a corrosão puntiforme (por pites), que se inicia com pequenos

“furos” na superfície que podem aumentar e causar danos com o tempo.

Nas Figuras 16 e 17, pode-se observar nitidamente que os tipos de corrosão presentes dos dutos que estão dispostos no trecho entre os municípios de Pau dos Ferros -RN e São Francisco do Oeste -RN, nas margens da BR-405.

Figura 16: Dutos adutora Pau dos Ferros -RN.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 17: Dutos adutora Pau dos Ferros -RN.



Fonte: Autora, 2023.

A presente tubulação se encontra exposta a diversas condições que influenciam o processo corrosivo, como a chuva, umidade do ar, em contato direto com o solo, além de estarem na maioria da extensão cobertas por matagais, vale ressaltar que a umidade proporcionada pela presença da água também influencia nesse processo.

Para esse caso, uma forma de prevenir ou tratar esse tipo de corrosão seria a aplicação de revestimentos, fazendo inicialmente a limpeza do material para remoção dos produtos da corrosão e posteriormente realizando a pintura na superfície com uma tinta que apresente na sua composição um metal mais reativo.

5.2.2 Braçadeiras de junção

Nas braçadeiras que servem dentre outras coisas para unir as partes da tubulação, foi identificado outro tipo de corrosão, a galvânica, que se dá quando dois metais distintos entram em contato, surgindo pela diferença de materiais da tubulação, braçadeira e presilha, além de corrosão uniforme em algumas partes da superfície do material. Esse elemento também apresenta exposição aos mesmos meios supracitados como água e solo.

Figura 18: Braçadeiras de junção da tubulação.



Fonte: Autora, 2023.

Algumas alternativas para evitar ou minimizar essa circunstância nesse tipo de corrosão seriam evitar o contato direto de metais diferentes, utilizar um material de sacrifício mais reativo, uma camada de material isolante entre as peças como uma borracha ou polímero, por exemplo, para impedir a junção do material metálico com a junta (OLIVEIRA, 2018). Nesse caso, já havia sido feita uma aplicação de tinta, porém, não foi eficaz para suprir a necessidade em que o material exigia nas condições em que encontram, se fazendo necessário realizar uma limpeza da corrosão e aplicação de revestimento que subra essa demanda.

No ano de 2018 esse elemento em questão apresentava a situação abaixo onde é possível ver nitidamente uma evolução significativa do fenômeno na figura 19 a seguir.

Figura 19: Braçadeiras de junção da tubulação em 2018.



Fonte: Oliveira (2018)

5.2.3 Válvula de gaveta

É um equipamento comumente utilizado em sistemas de água bruta e que está em contato direto com a substância, o que influencia no fenômeno da corrosão do metal, sua função de liberar ou bloquear a vazão da água que passa pela tubulação da adutora, apesar elemento ser cercado por caixa de passagem de alvenaria e tampado, ainda apresenta interação umidade.

Figura 20: Válvula de gaveta da adutora de Pau dos Ferros -RN.



Fonte: Autora, 2023.

Nesse caso foi possível identificar a corrosão por placas, identificável pelo desprendimento de fragmentos do material, assim como a corrosão alveolar nessa parte da tubulação, caracterizada pela formação de “crateras” em forma de alvéolos na superfície do material, bem como corrosão uniforme nos demais equipamentos que fazem a fixação da válvula. É importante que seja feita a manutenção, e como forma de cuidado, realizar o lixamento das áreas afetadas e fazer aplicação de uma tinta protetora nas áreas que compõem.

5.2.3 Parafusos dos equipamentos

Nos parafusos de fixação dos equipamentos, pode-se detectar a corrosão uniforme em na superfície do material, identificou-se também a corrosão galvânica caracterizada pelo devido a diferença de potencial entre os metais envolvidos, o meio corrosivo são as próprias condições atmosféricas, como por exemplo a umidade e ar.

Figura 21: Válvula de gaveta da adutora de Pau dos Ferros -RN.



Fonte: Autora, 2023.

Além disso, os parafusos estão também, sujeitos à fadiga e à tensão causados pelas solicitações mecânicas ocasionadas pelo torque aos quais os mesmos estão submetidos (OLIVEIRA, 2018).

Como forma de tratar ou evitar a corrosão, pode ser aplicada nos parafusos uma tinta protetora, vernizes, afim de impedir a entrada de eletrólitos, é importante que seja um revestimento que apresenta a composição adequada para esse estado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do estudo realizado no sistema adutor de Pau dos Ferros-RN através das referências bibliográficas e registros fotográficos feitos em 2018 e 2023, pôde-se perceber que a adutora em questão apresenta uma quantidade significativa de danos, ocasionados pelo fenômeno da corrosão em seus equipamentos hidráulicos pois estão expostos a condições favoráveis a esse processo. A respeito dos tipos de manifestações corrosivas encontradas, pôde-se destacar a corrosão uniforme, por pites, por placas, galvânica e alveolar.

Nesse caso, foram realizadas análises individuais sobre cada componente e identificado o tipo de corrosão existente, causas, meio exposto e por fim apresentadas formas de prevenção e tratamento do material, concluindo que fatores como sua capacidade de oxidação em relação maior que o oxigênio provocando a perda de elétrons para o oxigênio presente do ar, umidade ocasionada pela presença de água, e até mesmo a ligação de metais dissimilares.

Com relação a qualidade da água que era e é distribuída à população e a partir dos parâmetros disponíveis na agência virtual da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte dos anos de 2019 e 2023, foi constatada algumas diferenças consideráveis nos dados lançados entre esses anos, onde em 2019 os municípios de Pau dos Ferros, São Francisco do Oeste e entre outros estavam sendo atendidos pelo município de Apodi, no qual a água percorria longas distâncias através dos dutos que apresentavam alguns desgastes, onde viu-se que alguns parâmetros sofriam modificações negativas ao chegarem nas residências.

Atualmente, em 2023, esses parâmetros apresentam um outro cenário com relação aos valores máximos permitidos, estando em sua maioria dentro das conformidades, em que não recebe mais a captação de água do município de Apodi e sim do próprio município em questão (Pau dos Ferros), que desde Abril de 2020 abastece São Francisco do Oeste, fato esse que se tornou possível em virtude das chuvas sobre a região desde 2022 que aos poucos foi aumentando sua capacidade hídrica gerando o transbordo e atingimento de 100% de sua capacidade em 5 de Maio de 2023, em virtude desse cenário de abundância, hoje os dutos do sistema de adutora passam por uma fase de substituição com diferente material e diâmetro.

Sendo assim, considerando as condições dos componentes hidráulicos, é indispensável a realização de manutenções periódicas e trocas das peças que se encontrem em estado crítico, para manter um bom desempenho do sistema adutor e qualidade da água transferida que podem influenciar diretamente na saúde do consumidor. É relevante também, que seja oferecidas soluções de proteção tratamento como remoção da corrosão e limpeza da superfície e aplicação

do revestimento através de pintura, que é o método mais acessível e usual.

Portanto, o presente trabalho possibilitou alcançar informações importantes sobre o processo corrosivo nos dutos de aço, bem como outros elementos hidráulicos metálicos da adutora da cidade de Pau dos Ferros-RN no espaçamento de 5 anos, apresentando características da água fornecida para o público, oferecendo observações consideráveis para estimular a conscientização do órgão responsável em promover manutenções periódicas e verificação/adequação dos parâmetros da qualidade da água com destinação ao consumo e contribuindo de maneira significativa para futuras pesquisas dessa área e desse tipo de componente, servindo como insumo para futuras análises e pesquisas sobre a temática.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUABRASIL. Glossário Saneamento e Meio Ambiente. 2010. Disponível em: <<https://www.aguabrasil.iciet.fiocruz.br/index.php?pag=sane>>. Acesso em: 06 mar. 2023.

“Agência Nacional de Águas declara situação crítica de escassez hídrica em áreas de cinco estados”.(GOMES, 2021) (CASTRO, 2021), >
<https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/06/01/agencia-nacional-de-aguas-declara-situacao-critica-de-escassez-hidrica-em-areas-de-cinco-estados.ghtml> > (Acesso em 22 de abril)

AZEVEDO, Andrea Carla de *et al.* **Avaliação de Políticas Públicas Para o Desenvolvimento Regional: O Caso do Programa Água Doce no Semiárido Paraibano.** Campina Grande, 2012.

ABRACO, **Revista Corrosão e Proteção.** Mar/Abr 2007. Disponível em: <
><https://abraco.org.br/src/uploads/2016/01/Revista-corrosao-e-protecao-14.pdf>>. Acesso em: 06, Maio de 2023.

BEZERRA, Macio Bento. A crise hídrica como reflexo da seca: o Nordeste Setentrional em alerta. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 623-632, 2016. Disponível em: <
<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10509/7437> >. Acesso em 22 de abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano.** Brasília – DF, 2006

BEZERRA, Tathiane. **Estudo de Viabilidade do Reuso de Águas de Refrigeração de Destiladores Laboratoriais.** Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande – PB, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 04 de Maio de 2021.** Brasília, 2021.

BARBOSA, G. K. et al. **Água: A Importância da sua Qualidade.** Isomeria. 2020. Disponível em: <
<http://www.quimica.ufpr.br/paginas/isomeria/agua-a-importancia-de-sua-qualidade/>>
Acesso em: 03 Jan.2023.

CORRÊA, F. M. Saneamento Básico. Notas de aula, 2014.

CALLISTER, Willian D. Jr . e RETHWISCH, David G. Ciência e engenharia de materiais uma introdução. 8ª ed. Rio de Janeiro. Ed. LTC, 2010.

CLAUDINO, Cinthia Maria et al. **Sistema de Adutoras: Uma Abordagem Quanto à Classificação e os Aspectos de Projeto**, 2020.

DCALDEIRA. **Adutoras**. Engenharia: Slideshare, 2014. 36 slides, color. Disponível em: . Acesso em: 08 fev. 2023.

FRAUCHES-SANTOS, Cristiane et al. A corrosão e os agentes anticorrosivos. **Revista virtual de química**, v. 6, n. 2, p. 293-309, 2014. Disponível em: <<https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/490/422>>. Acesso em: 20 Abr. 2023.

FUNASA. **Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade**, 2001. Portaria nº 1.469. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_1469.pdf> Acesso em: 20 Mar. 2023.

GENTIL, Vicente. Corrosão. 5ª ed. Rio de Janeiro. Ed. LTC, 2007.

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

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2017.

GUEDES, H. A. S. **Adutoras**. Apresentação da disciplina Sistemas Urbanos de Água. Rio Grande do Sul. Universidade Federal de Pelotas-UFPEL. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2019/10/Aula-5-Adutoras.pdf>>. Acesso em: 23 Fev. 2023.

Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA). PNQAANA. 2004. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> Acesso em: 19 Mar. 2023.

LIRA, M. F. **Panorama e Inferências de Manifestações de Corrosão dos Componentes do Abastecimento de Água em Uiraúna/PB**. TCC. Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Pau dos Ferros, 2021.

LUZ, Ederson. **Monitoramento da Corrosão no Aço Carbono sae 1020, Aço Galvanizado, Alumínio e Cobre, Considerando as Condições Climáticas Serranas e Litorâneas de Santa Catarina.** Lages – SC, 2018.

Micro Ambiental, 2021. **Análise de bactérias coliformes na água.** Disponível em: <<https://microambiental.com.br/analises-de-agua/analise-de-bacterias-coliformes-na-agua-por-que-fazer/#:~:text=Quais%20limites%20a%20Portaria%20de,coliformes%20totais%20em%20100%20ml>>. Acesso em: 10 Maio de 2023.

MORALES, Maria Aparecida Marin *et al.* **Importância da Água Para a Vida e Garantia de Manutenção da Sua Qualidade.** Disponível em: <<https://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2016/10-importancia-da-agua-para-a-vida-e-garantia-de-manutencao-da-sua-qualidade.pdf>>. Acesso em 15 de fev. 2023.

OPERSAN, Blog Grupo. **Declaração universal dos direitos da água: entenda no que é pautado este documento.** 2022. Disponível em: <[https://info.opersan.com.br/declaracao-universal-dos-direitos-da-agua#:~:text=A%20Declara%C3%A7%C3%A3o%20Universal%20dos%20Direitos%20da%20%C3%81gua%20foi%20redigida%20pela,j%C3%A1%20era%20identificado%20o%20desperd%C3%ADcio.%20\(Acesso%20em%2016%20de%20fevereiro%202023\)](https://info.opersan.com.br/declaracao-universal-dos-direitos-da-agua#:~:text=A%20Declara%C3%A7%C3%A3o%20Universal%20dos%20Direitos%20da%20%C3%81gua%20foi%20redigida%20pela,j%C3%A1%20era%20identificado%20o%20desperd%C3%ADcio.%20(Acesso%20em%2016%20de%20fevereiro%202023))>. Acesso em: 16 fev. 2023.

OLIVEIRA, Antônio Roberto de. **Corrosão e Tratamento de Superfície.** Belém. Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Belém-PA. Disponível em: <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_metal/corr_trat_superf/161012_corr_trat_superf.pdf>. Acesso em: 05 Mar. 2023.

OLIVEIRA, M. P. **Análise do processo corrosivo em dutos de ferro: um estudo de caso na adutora de Pau dos Ferros–RN.** 2018.

ORSINI, E. Q. **Sistemas de abastecimento de água.** Apostila da disciplina PHD 412 – Saneamento II. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, SP, 1996.

PONTE, Haroldo. **Fundamentos da Corrosão.** Paraná. Disponível em: <<http://www.gea.ufpr.br/arquivos/lea/material/Fundamentos%20da%20Corrosao.pdf>>. Acesso em: 14 Abr. 2023.

PANNONI, F. D., Coletânea do uso do aço: princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio. 5. ed. São Paulo: Gerda, 2011.

PANNONI, F. D., Coletânea do uso do aço: princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio. 1º. ed. São Paulo, 2002.

Portal tratamento de água. 2017. Disponível em: <
<https://tratamentodeagua.com.br/artigo/determinacao-de-cloro-residual-e-da-demanda-de-cloro/>>. Acesso em 21, Março de 2023. **Determinação de cloro residual e da demanda de cloro.**

SILVA, B. F. O Sistema de Abastecimento d'água da Cidade de Santa Rita-PB. **Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil-Universidade Federal da Paraíba**, 2014.

SILVA, R.; GONÇALVES, R. **Análise da influência do perfil de revestimento isolante em testes de corrosão-erosão utilizando eletrodo disco rotatório**. Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.

SODERO, Maria Ismenia. **Formas de Corrosão**. São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena-USP, 2020. Acesso em: 21 Fev. 2023.

TUNDISI, José Galizia. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos avançados**, v. 22, p. 7-16, 2008.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

TREVIZAN, Patrick da Silva. **Viabilidade, potencial e características do sistema agrovoltaico**. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2022.