



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

MAÉCE PESSOA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO EM DUTOS DE FERRO: UM ESTUDO DE
CASO NA ADUTORA DE PAU DOS FERROS - RN**

PAU DOS FERROS-RN

2018

MAÉCE PESSOA DE OLIVEIRA

ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO EM DUTOS DE FERRO: UM ESTUDO DE
CASO NA ADUTORA DE PAU DOS FERROS - RN

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semi-árido – UFERSA, Centro
Multidisciplinar de Pau dos Ferros, como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

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

Coorientadora: Prof.^a Dr^a Josy Eliziane
Torres Ramos

PAU DOS FERROS-RN

2018

© 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.

048a Oliveira, Maéce Pessoa de .
 Análise do processo corrosivo em dutos de
 ferro: um estudo de caso na adutora de Pau dos
 Ferros - RN / Maéce Pessoa de Oliveira. - 2018.
 57 f. : il.

 Orientadora: Sanderlir Silva Dias.
 Coorientadora: Josy Eliziane Torres Ramos.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
 Tecnologia, 2018.

 1. Corrosão. 2. Água. 3. Pau dos Ferros. I.
 Dias, Sanderlir Silva , orient. II. Ramos, Josy
 Eliziane Torres , co-orient. III. Título.

MAÉCE PESSOA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DO PROCESSO CORROSIVO EM DUTOS DE FERRO (Fe): UM
ESTUDO DE CASO NA ADUTORA DE PAU DOS FERROS - RN**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semi-árido - UFERSA, Centro
Multidisciplinar de Pau dos Ferros, como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

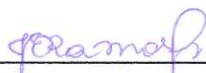
Aprovada em: 05 / 04 / 2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof^ª. Dr^ª. Sanderlir Silva Dias (UFERSA)

Presidente



Prof^ª. Dr^ª. Josy Eliziane Torres Ramos (UFERSA)

Membro Examinador



Prof. Jennef Carlos Tavares (UFERSA)

Membro Examinador

À Deus primeiramente, e à minha família, em especial à minha mãe, Maria Antonia, pelo seu amor incondicional a mim depositado, por sempre acreditar na minha capacidade e, por nunca medir esforços e sempre fazer o possível e o impossível para me ver chegar até aqui. Essa conquista também é sua, minha rainha.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é a forma mais singela de reconhecer a importância daqueles que de alguma forma, foram fundamentais na nossa caminhada.

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pela família maravilhosa que tenho e pelas pessoas com as quais pude contar quando precisei. Agradeço a ele também, por sempre me dá forças para prosseguir e me mostrar que eu seria capaz, mesmo quando eu achava que não iria conseguir.

Aos meus pais, Maria Antonia e Antonio Eudes, por todo amor e compreensão ao longo dos anos e, por todo esforço feito para que essa e outras conquistas fossem possíveis e, por sempre fazerem o melhor possível para todos os seus filhos.

À minha irmã Patricia Oliveira, por nunca duvidar da minha capacidade, por todo apoio concedido durante todos esses anos, por sempre ficar do meu lado, e por me apoiar e me fazer ver que eu iria conseguir quando até mesmo eu duvidava de mim.

Às minhas irmãs Kelviana e Kaylane, por todo apoio a mim depositado, por me encorajarem e por nunca medirem esforços para me ajudarem.

À minha prima Paizinha Pessoa, por todo apoio concedido desde o início dessa jornada, por me abrigar em sua casa e nunca me deixar faltar nada, preocupando-se sempre com meu bem-estar, e por sempre me dá o apoio necessário.

À minha avó Maria do Carmo, mulher guerreira e de fibra, que sempre fez e faz o possível para me ajudar e, por seu imenso e evidente amor de vó.

À toda minha família, em especial meu irmão Francisco e ao meu cunhado Lucivando, por todo apoio, meus tios José Valmir, Francisco Neto e Leonildes Pessoa, às minhas tias Amélia Pessoa e Maria Júlia e toda sua família, por todo apoio e aos demais familiares que sempre me apoiaram.

In memoriam ao meu avô Leônidas Pessoa, homem de uma vivência incrível, o qual tenho um imenso amor e gratidão, e me espelho bastante para ser uma pessoa cada dia melhor.

In memoriam aos meus avós maternos, Joana Pereira e Manoel Militão, com os quais eu não tive a sorte e oportunidade de conviver por muito tempo, mas sei que minha mãe é um reflexo deles e que, por isso, já merecem minha eterna gratidão e admiração.

À minha orientadora, a professora Dr^a. Sanderlir Silva Dias, por todo apoio, tempo disponibilizado para me ajudar nesse trabalho, todo empenho e por todos ensinamentos a mim passados e depositados durante a realização desse trabalho e, também pela pessoa admirável que ela é.

À minha co-orientadora, a professora Dr^a. Josy Eliziane Torres Ramos, por todo apoio, tempo disponibilizado para me ajudar nesse trabalho, dedicação e esforço a mim depositados durante a realização desse trabalho e, é claro, agradeço também

pela excelente pessoa que és.

Agradeço também à Banca Examinadora pelo tempo disponibilizado para poder contribuir com esse trabalho.

Agradeço também aos meus amigos que conquistei aqui na UFERSA e, que pretendo levar para a vida, em especial minha amiga Patricia Dias, por toda a paciência e companheirismo durante todos esses anos, e por me ajudar quando precisei; à minha amiga Jacilene Silva, por todo o companheirismo, e por nunca medir esforços para me ajudar nas horas que mais precisei e ela estava ali pra me ajudar, à minha amiga Jessika Fidélis, por todo o companheirismo e paciência durante essa fase. Agradeço também ao meu amigo Caio Sérgio, por todo apoio e disponibilidade em me ajudar na realização das análises hídricas.

Agradeço também às minhas amigas Lilian, Liliane e Tairine, as quais eu tive o privilégio de conhecer melhor esse semestre. Agradecer por todo o companheirismo, paciência e, por toda troca de apoio e, a todos os demais colegas, os quais não vou continuar citando pra não correr o risco de esquecer algum e ser injusto.

A todos os meus professores do ensino fundamental e médio, que tiveram uma participação importante nessa trajetória.

A todos os meus amigos de longa data, por toda vivência prazerosa ao longo desses anos.

À UFERSA, campus Pau dos Ferros e a todos que a fazem, por possibilitarem o melhor aprendizado e a melhor vivência ao longo dessa fase.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.”

Martin Luther King

RESUMO

O processo corrosivo é caracterizado pela deterioração do material ocasionada, principalmente, pela interação do material metálico com o meio corrosivo. O trabalho consistiu-se em uma análise do processo corrosivo na adutora da cidade de Pau dos Ferros-RN, relacionando-se esse processo com as modificações nos parâmetros da água que chega para o consumo da população, bem como problemas ocasionados pelo consumo dessa água. Esse estudo realizou-se por meio de pesquisa bibliográfica durante toda sua fase de realização a fim de se obter embasamento teórico para a presente pesquisa. Também foram feitos registros fotográficos na adutora para registrar os equipamentos constituintes da adutora onde a corrosão atuava, para posterior confecção do triângulo de corrosão para cada equipamento e, assim, determinar-se técnicas preventivas e protetoras contra esse processo. Coletou-se amostras de água na barragem que abastece a adutora e em pontos diferentes da cidade, respectivamente, para posterior análise laboratorial dessas amostras com o intuito de se verificar mudanças ocorridas na água após passar pela tubulação. Foi constatado que a adutora apresenta inúmeras formas de corrosão, tendo como maior predominância a corrosão uniforme e, constatou-se também que a água apresenta modificações após passar pela tubulação e, como uma das técnicas preventivas mais recomendadas, está a pintura e revestimento do material por meio de uma tinta que apresente em sua composição, um metal mais reativo que o material do objeto em estudo.

Palavras-chave: Corrosão. Água. Pau dos Ferros.

ABSTRACT

The corrosive process is characterized by deterioration of the material caused mainly by the interaction of the metallic material with the corrosive medium. The work consisted of an analysis of the corrosive process in the city of Pau dos Ferros-RN, relating this process with the changes in the parameters of the water that reaches the consumption of the population, as well as problems caused by the consumption of this water. This study was carried out by means of a bibliographical research during its entire realization phase in order to obtain a theoretical basis for the present research. Photographic records were also made in the pipeline to record the constituent equipment of the vessel where the corrosion occurred, for the purpose of making the corrosion triangle for each equipment, and thus to determine preventive and protective techniques against this process. Water samples were collected at the dam that supplies the water pipe and at different points in the city, respectively, for later laboratory analysis of these samples in order to verify changes occurred in the water after passing through the pipe. It was verified that the impeller presents numerous forms of corrosion, having as greater predominance the uniform corrosion and, it was also verified that the water presents modifications after passing through the pipe and, like one of the preventive techniques more recommended, is the painting and coating of the material by means of an ink that presents in its composition, a metal more reactive than the material of the object under study.

Keywords: Corrosion. Water. Pau dos Ferros.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento do sistema de abastecimento de água por uma adutora de água bruta	20
Figura 2 – Adutora por gravidade em conduto livre	22
Figura 3 – Adutora por gravidade em conduto forçado	22
Figura 4 – Adutora por recalque	23
Figura 5 – Principais formas de corrosão	26
Figura 6 – Triângulo da corrosão.....	28
Figura 7 – Sonda multi parâmetros HORIBA U50	38
Figura 8 – Sonda multi parâmetros HORIBA U50 em operação	39
Figura 9 – Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23)	40
Figura 10 – Parte da tubulação da adutora, localizada no início da cidade de Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23)	42
Figura 11 – Braçadeiras de junção da tubulação, localizada no início da cidade de Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23)	43
Figura 12 – Parafusos de fixação, localizada no início da cidade de Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23).....	44
Figura 13 – Parafusos de fixação, localizada no início da cidade de Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23).....	45
Figura 14 – Válvula de gaveta da adutora, localizada no início da cidade de Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23)	46
Figura 15 – Parafusos que fixam a válvula de gaveta da adutora, localizada no início da cidade de Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23).....	46
Figura 16 – Relação entre o pH e o aumento da taxa de corrosão	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASSECOM/RN	Assessoria de Comunicação Social
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETA	Estação de Tratamento de Água
OD	Oxigênio Dissolvido
ORP	Potencial de Oxidação/Redução
pH	potencial hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
RN	Rio Grande do Norte
STD	Sólidos Totais Dissolvidos

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Por cento
R\$	Reais
US\$	dólar dos Estados Unidos
mg/L	miligramas por litro
°C	Graus Celsius
Cm	centímetro
Km	kilômetro

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação de oxidação do ferro	41
Equação 2 – <i>redução</i> do oxigênio	41
Equação 3 – Equação ou reação global.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros analisados referentes à qualidade da água.....	48
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo Geral	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 Adutoras	20
3.2. Classificação das adutoras	21
3.3. Materiais das adutoras	23
3.4. Corrosão	24
3.5. Classificação da corrosão	24
3.5.1. Morfologia	25
3.5.2. Mecanismos	26
3.5.3. Fenomenologia	27
3.6. Meio corrosivo	27
3.7. Triângulo da corrosão	28
3.8. Corrosão e economia	28
3.8.1. Métodos de prevenção	30
3.8.1.1. Processo de revestimento metálico	30
3.8.1.2. Processo de revestimento não metálico	31
3.8.1.3. Proteção catódica	31
3.9. Análise da qualidade da água	32
3.9.1. Tratamento da água	33
4. METODOLOGIA	36
4.1. Quanto à análise do processo corrosivo	36
4.2. Quanto à análise da água	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1. Quanto à corrosão	40
5.1.1. Tubulação	40
5.1.2. Braçadeiras de junção	43
5.1.3. Parafusos dos equipamentos	44
5.1.4. Válvula de gaveta	45
5.2. Quanto à análise da água	47
6. CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

A escassez de água é uma característica marcante quando se fala na região nordeste, além de ser associada à pobreza, miséria e o subdesenvolvimento. Essa realidade, acabou contribuindo de forma direta para a migração campo-cidade na microrregião de Pau dos Ferros/RN (SOUTO; LIMA; BARRETO FILHO, 2017).

Além da falta de água, outras características importantes como o desenvolvimento das atividades produtivas como indústria, comércio, e serviços, contribuíram de forma significativa para a ocorrência desse êxodo. Consequentemente, houve um aumento da população pau ferrense residente na zona urbana, e com o passar dos anos, esse crescimento se deu não só na zona urbana, mas também na cidade como um todo (SOUTO; LIMA; BARRETO FILHO, 2017). Dessa forma, à medida que ocorre esse crescimento populacional, maior será a demanda por recursos, contribuindo assim, cada vez mais para a escassez da matéria-prima natural. Tendo por base a escassez dos recursos, e o crescimento da necessidade de se produzir cada vez mais, produtos devido o crescimento da demanda ocasionada pelo crescimento populacional, surge a necessidade de criação e adoção de técnicas que viabilizem essa produção. Técnicas essas, que permitam aumentar a vida útil dos materiais, consumindo a menor quantidade possível de recursos.

O que ocorreu desde a transição dos séculos XIX para o XX até os dias atuais, foram os gastos excessivos com o combate à seca (SILVA, 2007 apud SOUTO; LIMA; BARRETO FILHO, 2017), por meio de vultuosos investimentos na construção de barragens, adutoras, distribuição de água e políticas de transferência de renda.

Posicionada ao oeste do estado do Rio Grande do Norte, cravada na região semiárida brasileira, a microrregião de Pau dos Ferros é formada por dezessete municípios, sendo eles: Alexandria, Francisco Dantas, Itaú, José da Penha, Marcelino Vieira, Paraná, Pau dos Ferros, Pilões, Portalegre, Rafael Fernandes, Riacho da Cruz, Rodolfo Fernandes, São Francisco do Oeste, Severiano Melo, Taboleiro Grande, Tenente Ananias e Viçosa. A população total de todos esses municípios é de aproximadamente 118.951 mil habitantes (IBGE, 2015 apud SOUTO, LIMA, BARRETO FILHO, 2017).

Segundo Souto (2017), Lima e Barreto Filho (2017), Pau dos Ferros/RN

exerce uma grande influência sobre os municípios próximos seu grande poder na oferta de serviços e empregos. Pode ainda ser definida como cidade intermédia, devido a esta característica de intermediação e polarização entre diversas cidades, como aponta Dantas, Clementino e França (2014, apud SOUTO, LIMA BARRETO FILHO, 2017).

A adutora da cidade de Pau dos Ferros-RN se apresenta como uma solução para a população da referida cidade visto que a barragem presente na cidade, secou devido a estiagem na região, acarretando problemas relacionados tanto com o consumo para própria sobrevivência, quanto para a realização de atividades realizadas ao comércio, por exemplo.

A maioria dos metais sofre corrosão quando expostos à atmosfera, isto é, eles reagem com oxigênio, vapor de água, óxido de carbono ou algum outro componente do ar transformando um composto (MASTERTON, SLOWINSKI, e STANITSKI, 2012).

Pesquisas relacionadas à corrosão exigem, dentre outras coisas, um estudo detalhado e aprofundado à cerca da estrutura estudada, a fim de se identificar os tipos de corrosão presentes na mesma, bem como o meio agressivo e as condições operacionais para assim, poder aplicar as técnicas necessárias e adequadas para cada tipo encontrado.

Com o avanço tecnológico mundialmente alcançado, os custos da corrosão evidentemente se elevam, tornando-se um fator de grande importância a ser considerado já na fase de projeto de grandes instalações industriais para evitar ou minimizar futuros processos corrosivos (GENTIL, 1996). Um quinto da produção mundial de aço é destinada a repor perdas ocasionadas pela corrosão. De uma forma geral, os estudos em diferentes países, estimam custos que variam entre 1% e 5% do PIB (DIÁRIO DO COMÉRCIO, 2008).

A finalidade desse estudo, é analisar e identificar os tipos de corrosão presente na adutora de engate rápido que abastece a cidade de Pau dos Ferros-RN, bem como fazer uma análise das consequências que a água que chega para o consumo da população pode trazer para a saúde de quem a consome, uma vez que a mesma traz consigo resíduos que se desprenderam da tubulação por causa dessa corrosão, além de propor medidas e ações que possam vir a solucionar o problema.

Para execução desse trabalho foram adotadas vertentes de investigação a fim de obter informações que oferecessem embasamento ao que a pesquisa se propõe:

i) análise *in situ* da problemática através de registros fotográficos ii) realização de visitas à sede da Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN), instalada no município de Pau dos Ferros. iii) coleta de amostras de água para análise de parâmetros importantes que definem sua qualidade, como turbidez, cor e pH.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Identificar, por meio da realização de estudos de casos de corrosão em adutora, o tipo de corrosão, bem como as consequências que a mesma pode trazer para a saúde da população que consome a água vinda dessa adutora, e a partir dessa identificação, propor soluções específicas para a proteção do metal exposto a esse tipo de corrosão.

2.2 Objetivos Específicos

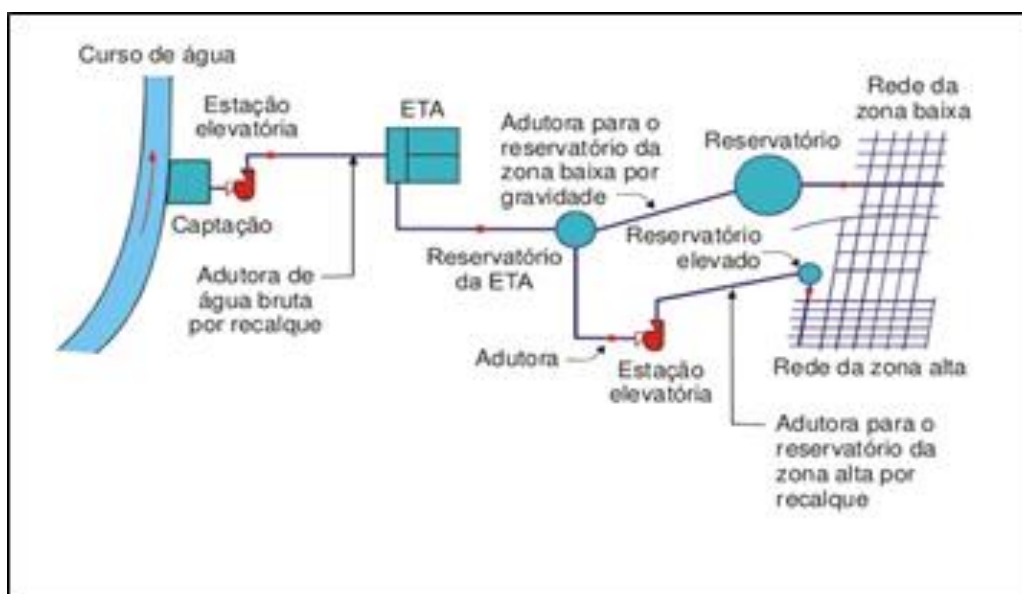
- Compreender o processo de corrosão, definindo os parâmetros essenciais do processo;
- Construir o triângulo de corrosão, baseado na definição dos parâmetros;
- Realizar análises de amostras hídricas, na adutora presente na cidade de Pau dos Ferros-RN;
- Encontrar soluções de proteção através do conhecimento obtido teórica e prático.
- Compreender as técnicas e dispositivos de proteção contra este processo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Adutoras

As adutoras podem ser simplesmente definidas como um sistema de tubulações por onde as águas são transportadas dos reservatórios até as casas da população, ou pode ainda ser definida de forma mais ampla como “canalizações dos sistemas de abastecimento e destinam-se a conduzir água entre as unidades que precedem à rede distribuidora” (DCALDEIRA, 2014). Aguabrazil (2010) classifica os sistemas de abastecimentos de água como “obras de engenharia que, além de objetivarem assegurar o conforto às populações e prover parte de infraestrutura das cidades, visam prioritariamente superar os riscos à saúde impostos pela água. Um sistema de abastecimento de água, em geral é composto por: manancial, captação, adução, tratamento, reservação ou reservatório, rede de distribuição e ligações prediais, estações elevatórias ou de recalque”. A Figura 1 apresenta uma representação de um sistema de abastecimento de água.

Figura 1 – Funcionamento do sistema de abastecimento de água por uma adutora de água bruta



Fonte: KNAPIK, (2017)

3.2. Classificação das adutoras

Esses sistemas de abastecimento de água podem ser classificados levando-se em consideração alguns critérios. Dcaldeira (2014) classifica essas adutoras como sendo

- Quanto à natureza das águas transportadas:
 - Adutoras de água bruta;
 - Adutoras de água tratada.
- Quanto à energia para a movimentação da água
 - Adutora por gravidade (por condutos forçados, ou em condutos livres);
 - Adutoras por recalque;
 - Adutoras mistas.

Quando se fala em classificação das adutoras de acordo com a natureza das águas que são transportadas, estas podem ainda ser definidas mais amplamente, como podemos ver na definição de SAAE (2016, p.3)

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.

As adutoras podem ainda ser classificadas de acordo com a energia utilizada para a movimentação das águas, como afirma Nucase (2008, p.21)

Adutora por gravidade em conduto livre: nesse tipo de adutora, a água escoar sempre em declive, mantendo uma superfície livre sob o efeito da pressão atmosférica. Os condutos não funcionam com seção plena (totalmente cheios).

Adutora por gravidade em conduto forçado: nesse tipo de adutora, a pressão interna permanentemente superior à pressão atmosférica permite à água mover-se, quer em sentido descendente quer em sentido ascendente.

Adutora de recalque: quando, por exemplo, o local da captação

estiver em um nível inferior, que não possibilite a adução por gravidade, é necessário o emprego de equipamento de recalque (conjunto moto-bomba e acessórios). Nesse caso, diz-se que a adução é feita em condutos forçados por recalque.

A Figura 2 apresenta uma adutora por gravidade em conduto livre.

Figura 2 – Adutora por gravidade em conduto livre



Fonte: Nucase (2008).

A Figura 3 apresenta uma adutora por gravidade em conduto forçado.

Figura 3 – Adutora por gravidade em conduto forçado



Fonte: Nucase (2008).

A Figura 4 apresenta uma adutora por recalque:

Figura 4 – Adutora por recalque



Fonte: Nucase (2008)

3.3. Materiais das adutoras

Na construção de adutoras, diversos são os materiais utilizados. No entanto, não são todos os materiais que podem e devem ser utilizados. Deve-se seguir alguns critérios na escolha desses materiais. Knapik (2017) destaca como sendo materiais que devem ser utilizados para a construção de adutoras, aqueles que não sejam prejudiciais à qualidade da água, que apresentem alteração da rugosidade com o tempo (incrustação), apresentem resistência química e mecânica, resistência à pressão da água, e que proporcione economia para quem instala esse tipo de obra. Os materiais podem ser metálicos (aço e ferro fundido dúctil), e não metálicos (Polietileno de alta densidade e polipropileno, PVC e poliéster reforçado com fibra de vidro).

Os principais elementos que são indispensáveis para uma correta elaboração de um projeto de redes de distribuição de água para abastecimento público (construção de adutoras), estão definidos na NBR 12218 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1994). Dentre muitos desses elementos, podem ser citados:

A tubulação de aço (geralmente empregada), traz consigo uma série de vantagens, mas é claro, também apresenta suas desvantagens, como afirma Knapik (2017):

Vantagens

- Alta resistência às pressões internas e externas
- Vários diâmetros e tipos de juntas

- Competitivo principalmente em maiores diâmetros e pressões
- Leve e flexível
- Resistência química e à abrasão, menor rugosidade

Desvantagens

- Pouca resistência à corrosão externa
- Cuidados com dilatação térmica
- Dimensionamento das paredes dos tubos quanto ao colapso

A vida útil desses materiais varia muito de acordo com o meio no qual os mesmos estão expostos, condições climáticas, dentre tantos outros fatores, mas em média, a vida útil das tubulações é de 50 anos, a dos equipamentos de bombeamento é de 25 anos, e as edificações, duram em média, 50 anos (KNAPIK, 2017).

3.4. Corrosão

A corrosão se torna a cada dia um desafio mais pertinente ao homem, visto que à medida que ele evolui e, junto com ele os avanços tecnológicos, ela está sempre encontrando novas formas de se fazer presente. A corrosão é definida muitas vezes, informalmente, como o desprendimento de pedaços de concreto de estruturas empregadas na construção civil, ou até mesmo como o enferrujamento de peças metálicas, dentre outras inúmeras definições. Existem, no entanto, definições mais amplas, e mais “condizentes” com a química, como a “[...] deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos” (GENTIL, 1996, p.02).

Ainda pode ser definida de maneira mais vasta como o “[...] resultado de uma reação de oxidação de um metal em presença de alguma substância ou elemento que sofre redução. É também todo o processo eletroquímico que produz degradação e perda de propriedades químicas, físico-químicas ou mecânicas do material metálico” (OLIVEIRA, 2012).

3.5. Classificação da corrosão

A corrosão pode se apresentar de várias formas ou tipos, levando-se em consideração a aparência ou a forma de ataque, e também os fatores que contribuíram para essa corrosão.

3.5.1. Morfologia

Ela pode ser classificada de acordo com a sua morfologia, segundo OLIVEIRA (2012), em 9 tipos principais. Dentre esses tipos, existem 4 que são os que ocorrem com maior frequência, que são definidos segundo OLIVEIRA (2012), como

1) Corrosão uniforme: é a que se processa em toda a extensão da superfície e sua principal característica é a perda uniforme de espessura, chamada também de corrosão generalizada.

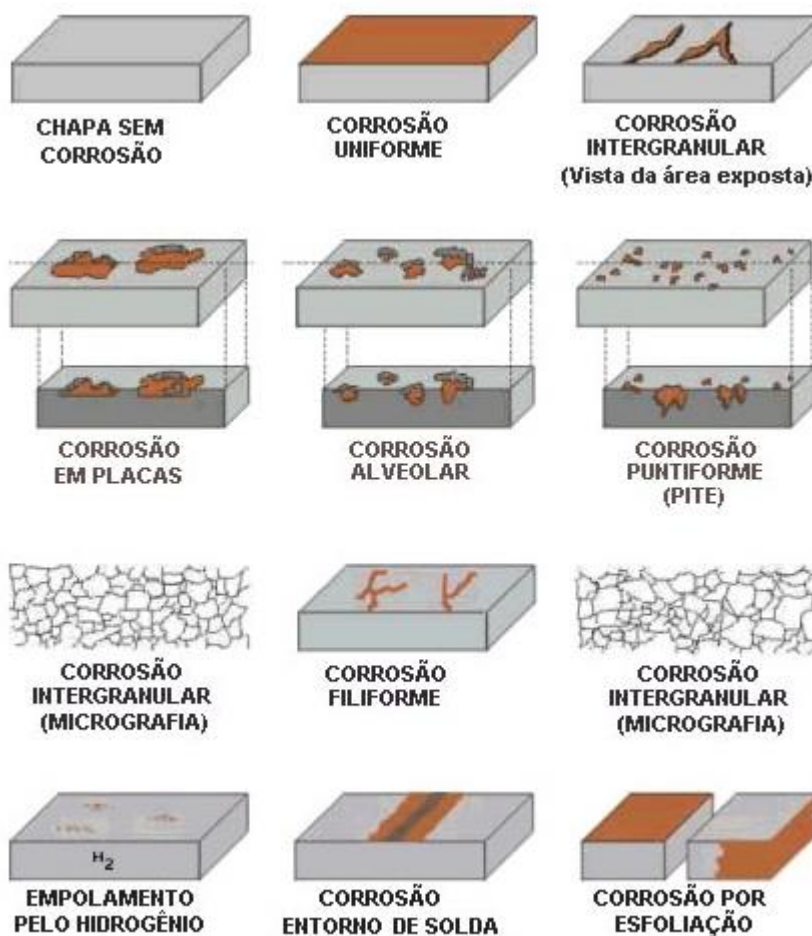
2) Corrosão por placas: é a que se localiza em regiões de superfície metálica e não em toda sua extensão, caracterizando-se por apresentar uma espécie de escavação no material.

3) Corrosão puntiforme ou por pites: se processa ponto a ponto, em pequenas áreas localizadas na superfície metálica, produzindo uma espécie de pites ou simplesmente furos que são cavidades em forma angulosa com profundidades superior ao diâmetro de superfície do furo.

4) Empolamento pelo Hidrogênio: o hidrogênio atômico penetra nos metais e em função do seu pequeno volume atômico, vai se difundindo em regiões microscópicas de descontinuidades [...].

A Figura 5 apresenta os principais tipos de corrosão:

Figura 5 – Principais formas de corrosão



Fonte: Gentil (2011)/Adaptada.

“Ao se considerar o emprego de materiais na construção de equipamentos ou instalações é necessário que eles resistam à ação do meio corrosivo, além de apresentar propriedades mecânicas suficientes e características de fabricação adequadas” (METAIS/GALVANIZAÇÃO, 2018).

3.5.2. Mecanismos

Quanto aos mecanismos, a corrosão pode ser classificada como química e eletroquímica. O que difere as duas é o fato de que o deslizamento dos elétrons só ocorre na corrosão eletroquímica. Essa, é comum em dutos, como a corrosão em água ou soluções aquosas e na corrosão por solo, que ocorre em dutos enterrados.

3.5.3. Fenomenologia

Já com relação aos fenômenos corrosivos, a corrosão em dutos pode ser classificada em diversos tipos, sendo os mais comuns, a galvânica, a eletrolítica, e por aeração diferencial. Todos estes tipos de corrosão são observados em dutos. As quais são classificadas segundo Araújo (2012, p. 47-49), como

Corrosão Galvânica - Corrosão que ocorre quando dois materiais metálicos, com diferentes potenciais, estão em contato em presença de um eletrólito. Este contato causa uma transferência de carga elétrica de um material para outro devido a diferença de potenciais elétricos. Em dutos, a corrosão galvânica pode ser observada quando dois materiais metálicos estão em contato, surgindo assim áreas anódicas e catódicas.

Corrosão Eletrolítica – Corrosão ocasionada em estruturas metálicas enterradas ou submersas, como resultado de correntes elétricas de interferência que também são chamadas de correntes de fuga, estranhas, parasitas, vagabundas ou espúrias.

Corrosão por Aeração Diferencial - Corrosão decorrente da exposição de um metal em uma solução apresentando diferentes concentrações ou pressões parciais de oxigênio. A corrosão por aeração diferencial ocorre frequentemente em regiões intermediárias entre dois meios, como ar e água ou ar e solo, por exemplo: em tubulações parcialmente enterradas, tubulações sujeitas à deposição de partículas sólidas, etc.

3.6. Meio corrosivo

O meio corrosivo pode ser definido como o local no qual o material está exposto, e que faz com que o mesmo sob certas condições venha a sofrer a corrosão. Diversos são os tipos de meios corrosivos, dentre esses, podemos destacar os principais como sendo o solo, a água, produtos químicos e inclusive a própria atmosfera.

O solo, é um meio corrosivo bastante complexo e difícil de se determinar sua intensidade devido ao fato de que o mesmo está sempre em constante modificação de suas propriedades, sendo estas, causadas principalmente por fatores como precipitações, plantas, animais e é claro, a ação humana.

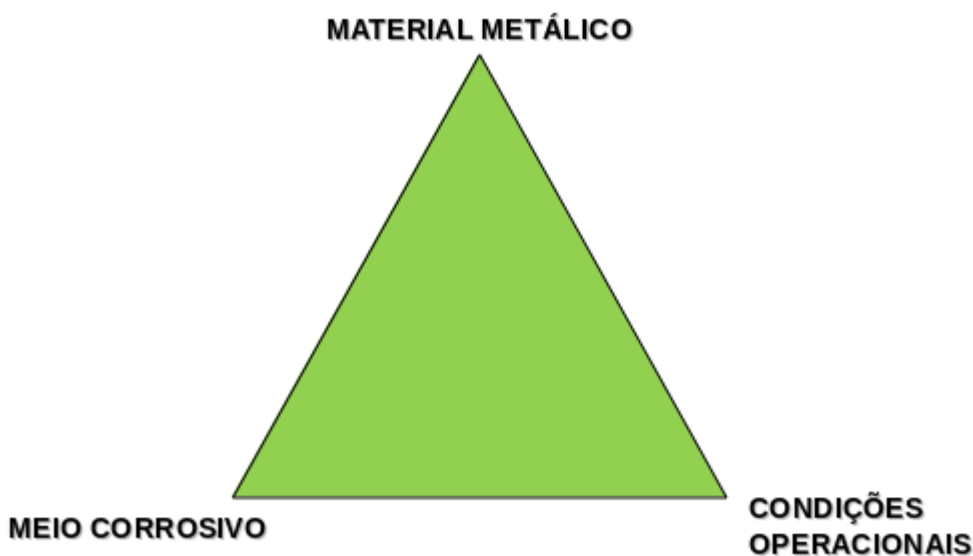
Por outro lado, temos a água que também é um meio corrosivo bastante

problemático, devido ao fato de conter diversos eletrólitos em maior ou menor quantidade, como por exemplo, os sais minerais, microrganismos, ácidos ou bases, resíduos químicos e gases dissolvidos. A água do mar, tem uma grande presença de sais, o que a torna muita agressiva (MAGNAN, 2011).

3.7. Triângulo da corrosão

O triângulo de corrosão (Figura 6) consiste em um triângulo constituído pelo meio corrosivo, pelo material e pelas condições operacionais as quais o material se encontra exposto. Essas três características, encontram-se em cada vértice do mesmo e, quando em conjunto, levam o material a sofrer a corrosão. A elaboração desse dispositivo permite conhecer as causas que fazem com que o material sofra a corrosão e, conseqüentemente, ajuda a propor medidas e técnicas que possam anular, ou ao menos minimizar o efeito da mesma sobre o material.

Figura 6 – Triângulo da corrosão



Fonte: Ramos, 2016

3.8. Corrosão e economia

A corrosão é um problema bem amplo, que vem ocorrendo com bastante frequência e que, por isso, vem gerando bastante preocupação em toda a

população, visto que esse problema vem afetando as mais variadas áreas, desde casos mais conhecidos como a construção civil, até casos não muito conhecidos como a medicina, por exemplo. Gentil (1996, p.01), afirma que

Os problemas de corrosão são frequentes e ocorrem nas mais variadas atividades, como por exemplo nas indústrias química, petrolífera, petroquímica, naval, de construção civil, automobilística, nos meios de transportes aéreo, ferroviário, metroviário, marítimo, rodoviário e nos meios de comunicação, como sistemas de telecomunicações, na odontologia (restaurações metálicas, aparelhos de prótese), na medicina (ortopedia) e em obras de arte como monumentos e esculturas.

De acordo com Metais/galvanização (2018), a grande maioria dos casos, a adoção de processo preventivo anti-corrosão no início da utilização dos materiais proporcionará um significativo aumento da vida útil da estrutura, além da economia de custos em um número menor de manutenções necessárias.

Esse fenômeno pode acarretar diversos danos, tanto financeiros quanto de estética das estruturas, entre outros diversos danos como afirma Gentil (1996, p.02):

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.

Atualmente no Brasil, são realizados altos investimentos destinados à reparação de gastos com corrosão. De acordo com O Diário do Comércio (2008), os gastos com corrosão no país, podem chegar a cerca de US\$ 10 bilhões, sendo grande parte na indústria petrolífera.

De acordo com dados da Abglava (2017), o maior consumidor de aço no mundo é a corrosão. Cerca de 20% da produção mundial de ferro e aço é perdida com a corrosão. Um estudo feito por uma empresa norte-americana avaliou que 1% a 5% do PIB dos países são consumidos pela corrosão.

O PIB do Brasil em 2013 era de aproximadamente R\$ 4,8 trilhões, sendo que 4% desse PIB era gasto com corrosão (USP/IZA apud ABGLAVA, 2017). Em virtude

desse fato, torna-se necessário analisá-la com uma maior ênfase, uma maior importância, como afirma OLIVEIRA (2012, p.26)

No Brasil, de 60% (sessenta por cento) da produção interna de aço, dois terços (2/3) se transformam em sucata e um terço (1/3) é destruído pela corrosão. [...] Existem também os custos indiretos que relacionam os acidentes, perdas de vida, qualidade, eficiência, contaminações e, ainda, outros custos gerados pela corrosão, impossíveis de serem medidos e que se manifestam ao longo do tempo. Percebe-se a importância da corrosão como ciência, pelas inúmeras relações com outras áreas científicas. [...] Em outras palavras, precisamos olhar a corrosão de forma holística, na sua importância como ciência metalúrgica.

3.8.1. Métodos de prevenção

Um aspecto bastante importante que deve ser analisado logo na fase inicial de qualquer projeto, é o cuidado com a corrosão. Para isso, deve-se analisar desde o meio no qual o material ficará exposto, até as condições operacionais aos quais o mesmo estará submetido, como uma forma de evitar prejuízos futuros provenientes de gastos com reparos de estruturas danificados pela ação do processo corrosivo.

3.8.1.1. Processo de revestimento metálico

A ação protetora dos metais quando utilizados como revestimentos anticorrosivos, se dá pela se dá pela formação de películas protetoras de óxidos, hidróxidos e outros compostos que reagem com os oxidantes do meio corrosivo, desde que ocorram formações de óxidos aderentes (OLIVEIRA, 2012).

Alguns dos principais processos de aplicação de revestimento metálico com suas respectivas técnicas, são destacadas por Oliveira (2012, p.60 - 61), como

Cladização – também chamado de cladeamento, é feito por laminação conjunta a quente com chapa de metal base e metal de revestimento, ou então pelo processo de explosão.

Imersão a quente – muito utilizado no revestimento do aço com estanho, cobre, alumínio ou zinco. Imerge-se o material metálico em um banho do metal de revestimento fundido.

Metalização – é um processo com fins de recuperação, que utiliza

metalização com zinco, estanho, chumbo, cobre, cromo, níquel e ainda ligas de cobre e zinco, aço inoxidável e outros.

Eletrodeposição – processo muito utilizado pela melhor qualidade de revestimento livre de poros e de camadas contínuas e finas com alto grau de proteção.

3.8.1.2. Processo de revestimento não metálico

Quando são depositados diretamente na superfície de metais, como esmaltes vitrosos, vidros, porcelanas, cimentos, entre outros, os compostos orgânicos são processos de proteção onde cada caso e situações corrosivas devem ser analisadas (OLIVEIRA, 2012). Os processos de proteção por revestimento não metálico inorgânico mais utilizados são, de acordo com Oliveira (2012, p. 64),

Anodização – a proteção é caracterizada pela aderência e pela alta resistividade elétrica, por isso a utilização do alumínio é excelente para resistir à corrosão atmosférica.

Cromatização – é quando se obtém um revestimento protetor produzido em soluções contendo cromatos ou ácido crômico, com objetivo de aumentar a resistência à corrosão e de melhorar a aderência das tintas sobre os materiais metálicos, tais como alumínio ou ligas de alumínio.

Fosfatização – existe uma grande versatilidade de aplicação, principalmente no ferro, zinco, alumínio, cádmio e magnésio.

3.8.1.3. Proteção catódica

Segundo Barbosa (2012), 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). Os meios de manter uma tubulação protegida catodicamente são pôr intermédio de Anodos de Sacrifício e Corrente Impressa.

De acordo com Gentil (2011) anodo de sacrifício é o processo onde ocorre a geração de corrente por causa das reações que ocorrem entre o metal de sacrifício e o metal ao qual se deseja proteger. Dessa forma, o metal de sacrifício irá se deteriorar ao passo que o outro irá continuar inerte. Já no processo de proteção por meio da corrente impressa há a geração, pela força eletromotriz, de uma corrente elétrica, fornecendo assim, a energia necessária para se proteger a estrutura.

3.9. Análise da qualidade da água

Segundo informações obtidas por meio de entrevista realizadas pelo próprio autor à sede da CAERN (localizada na cidade de Pau dos Ferros-RN), antes de ser distribuída para a população, a água passa por um acompanhamento por meio de análise físico-química e bacteriológica, que são feitas semanal e mensalmente na própria cidade, e também são realizadas as análises semestrais que são feitas na cidade de Natal-RN (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

Nucase (2008), afirma que para que a água distribuída aos consumidores não ofereça risco à saúde, o ministério da saúde criou a Portaria MS nº. 518/2004, que estabelece os padrões de potabilidade, que servem de parâmetros para a vigilância e o controle da qualidade da água. São os valores máximos permitidos e os valores recomendáveis para alguns parâmetros indicadores da qualidade da água. Essa portaria também estabelece os principais locais onde devem ser feitas as coletas das amostras de água para análise (pontos de amostragem), que segundo Nucase (2008), são

[...] próximos à grande circulação de pessoas (como terminais rodoviários, edifícios com grupos populacionais de risco (como hospitais), trechos vulneráveis do sistema de distribuição (como ponta de rede) e locais onde são comuns os casos de doenças de veiculação hídrica).

Existem alguns parâmetros que devem ser analisados na classificação da qualidade da água. São esses parâmetros que vão dizer se determinada água é ou não apropriada, seja para o consumo humano, ou para qualquer que seja o seu destino. Aguabrazil (2010) classifica esses parâmetros como sendo

Análise da turbidez: pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A alteração à penetração da luz na água decorre da presença de material em suspensão. É provocada por partículas em suspensão (sólidos). Em outras palavras, é uma característica que reflete o grau de transparência da água. 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).

Análise de Cor: Ao contrário da turbidez, é causada por substâncias dissolvidas; A Portaria nº518/2004 do Ministério da Saúde

estabelece, para cor aparente, o valor máximo de 15 uH como padrão de aceitação para consumo humano.

Análise do PH: o potencial hidrogeniônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido por meio da medição da presença de íons de hidrogênio (H⁺). Valores de pH menores que 7 indicam águas com características ácidas e valores acima de 7 indicam águas básicas. A Portaria nº. 518/2004 do Ministério da Saúde recomenda que o pH da água seja mantido entre 6,0 e 9,0.

Partículas Sólidas na Água: A presença de sólidos na água refere-se à entrada de partículas em suspensão ou em dissolução. Sólidos em suspensão podem ser definidos como as partículas passíveis de retenção por processos de filtração. Sólidos dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a 10 µm e que permanecem em solução mesmo após a filtração. A entrada de sólidos na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de lixo e esgotos).

3.9.1. Tratamento da água

SAAE (2006, p.02), define potabilidade como “o atendimento a padrões mínimos exigidos para que a água a ser consumida não seja transmissora de doenças aos seres humanos”. O tratamento da água tem como objetivo melhorar a qualidade da água bruta, retirando impurezas que possam causar danos à saúde humana. Um estudo prévio da água a ser tratada é essencial, pois, em função das suas características físicas, químicas e biológicas, pode-se definir a tecnologia mais adequada para seu tratamento, proporcionado economia na implantação e operação da estação, maior eficácia no tratamento e menor geração de resíduos. (Transversal, 2008, p.28).

De acordo com dados obtidos em entrevista feita pelo próprio autor à sede da CAERN, (localizada em Pau dos Ferros-RN), para o tratamento da água, é feito um agente coagulante na própria barragem e, posterior filtração na barragem e, quando chega na cidade de Pau dos Ferros-RN, adiciona-se o cloro para desinfecção.

O tratamento adequado de água, visa melhorar a qualidade da água que abastece a população, e deve atender diversas finalidades, que são classificadas de acordo com SAAE (2006, p.02), como

Higiênicas: remoção de bactérias, protozoários, vírus e outros

microrganismos, de substâncias nocivas, redução do excesso de impurezas e dos teores elevados de compostos orgânicos;

Estéticas: correção da cor, sabor e odor;

Econômicas: redução de corrosividade, cor, turbidez, ferro, manganês, sabor, odor.

Existem diversas técnicas de tratamento de água, sendo algumas mais rápidas e mais convencionais, porém não tão eficazes, e outras que demandam um maior tempo no entanto, são mais eficazes. SAAE (2006, p.05), define e classifica esses tipos de tratamentos como sendo, sistema de tratamento de água convencional, e sistema de tratamento de água por flotação. O sistema de tratamento de água convencional “é um sistema composto de Adutora, floculadores, decantadores, filtros e reservatórios e é denominado convencional por ser comumente encontrado na maioria das estações de tratamento de água” (SAAE, 2006, p.05). O sistema de tratamento de água convencional subdivide-se em 7 etapas, sendo elas:

1) Coagulação e Floculação: Nestas etapas, as impurezas presentes na água são agrupadas pela ação do coagulante, em partículas maiores (flocos) que possam ser removidas pelo processo de decantação.

2) Decantação: Processo de separação de partículas sólidas da água, pela ação da gravidade, quando se anula ou diminui a velocidade de escoamento do líquido, propiciando a sedimentação dessas partículas.

3) Filtração: A água decantada é encaminhada às unidades filtrantes onde é efetuado o processo de filtração. Um filtro é constituído de um meio poroso granular, normalmente areia, de uma ou mais camadas, instalado sobre um sistema de drenagem, capaz de reter e remover as impurezas ainda presentes na água.

4) Desinfecção: é a destruição ou inativação de organismo patogênicos capazes de provocar doenças ou outros organismos indesejáveis.

5) Tanque de Contato: é o recipiente, ou dispositivo, onde se processa a desinfecção final. Muito mais do que ser um ponto de dosagem de cloro, o tanque de contato tem a função de homogeneizar a ação do cloro na água. Suas dimensões e características permitem que todas as parcelas de água no sistema possuam total desinfecção.

6) Correção de pH: é efetuada através da adição de produtos químicos para que a água não se torne excessivamente ácida. A acidez possibilita a corrosão de tubulações e equipamentos.

7) Fluoretação: é efetuada através de compostos à base de flúor. A

aplicação destes compostos na água de abastecimento público contribui para a redução da incidência de cárie dentária em até 60%, se as crianças ingerirem desde o seu nascimento, quantidades adequadas de íon fluoreto. (SAAE, 2006, p. 05-07).

Já o sistema de tratamento de água por flotação, é utilizado quando a água que irá receber o tratamento se apresenta de maneira diferente da forma que se apresenta no sistema de tratamento tradicional, como afirma Transversal (2008, p.34):

Esse sistema de tratamento é utilizado quando a água a ser tratada forma flocos com baixa velocidade de sedimentação. A sequência de tratamento é a mesma do tratamento convencional, só que a decantação é substituída pela flotação. Na flotação, a água que sai do floculador é conduzida para um tanque (flotador). Os flocos são arrastados para a superfície desse tanque, por meio da ação de microbolhas. As microbolhas são formadas por equipamentos especiais, como bomba e compressor de ar. Elas aderem aos flocos, provocando sua subida até a superfície, formando um lodo. A água, então, sai clarificada na parte inferior do tanque.

4. METODOLOGIA

4.1. Quanto à análise do processo corrosivo

Durante toda a fase de realização desse estudo, realizou-se pesquisa bibliográfica sobre o processo corrosivo e, buscou-se compreender o processo estudado, bem como, realizou-se em paralelo, estudo de caso de corrosão na adutora da cidade de Pau dos Ferros-RN, a qual é abastecida pela barragem da cidade de Apodi-RN.

O estudo de caso foi feito na busca da identificação do tipo de corrosão que ocorre na adutora, consequências dessa para a saúde da população que faz uso da água advinda da mesma, e, a partir desses dados, propôs-se soluções para proteção do(s) tipo(s) de corrosão encontrado(s). Foi construído o triângulo de corrosão, para conhecimento dos parâmetros corrosivos e proposição das técnicas preventivas e/ou protetivas. Para um estudo mais detalhado, realizou-se também um levantamento histórico dessa adutora, bem como um acompanhamento das amostras escolhidas, com registro fotográfico na própria adutora, a fim de que fosse possível registrar possíveis mudanças.

4.2. Quanto à análise da água

Durante a realização desse estudo, coletou-se também, três amostras de água, de forma que duas dessas amostras foram coletadas nas residências da população da referida cidade, Pau dos Ferros-RN, e a terceira amostra, foi coletada no próprio manancial, (barragem de Apodi-RN). Coletou-se 2 L de água para cada amostra. Essas coletas tiveram, como intuito principal, verificar a qualidade da água antes de passar pelas tubulações, (manancial), e após passar pelas tubulações, (residências).

As amostras de água foram submetidas a análise laboratorial por meio da Sonda Multi parâmetros HORIBA U50, (Figura 7). Inicialmente, colocou-se as amostras, uma por vez, dentro de um bécker de 2L, lavou-se a sonda com água destilada e, em seguida, colocou-se a mesma dentro do bécker e aguardou-se o tempo necessário para análise dos parâmetros, (Figura 8). Após análise, o

equipamento apresentou os parâmetros desejados. Os parâmetros foram:

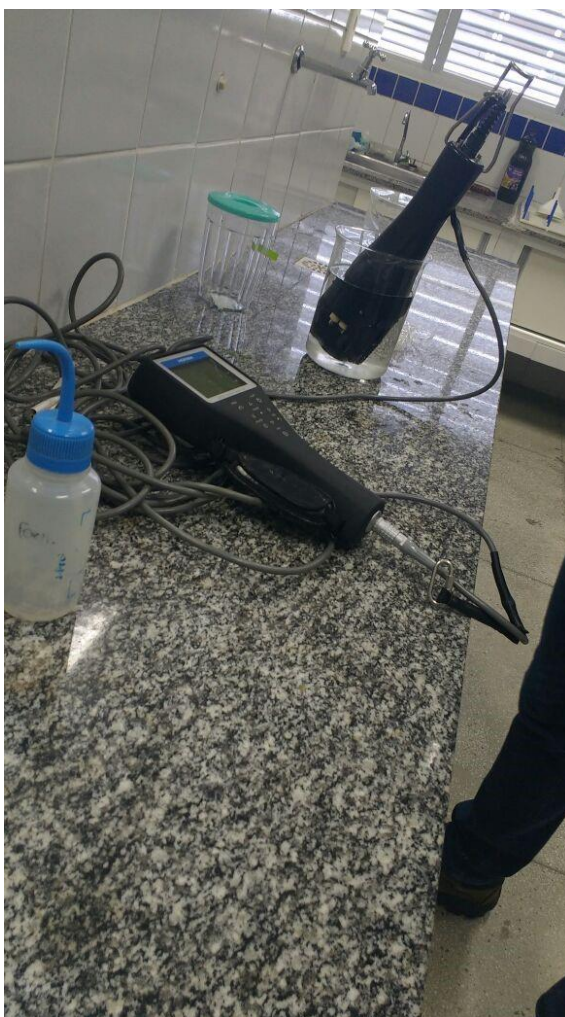
- pH;
- Turbidez;
- Sólidos totais dissolvidos (STD);
- Oxigênio dissolvido (O.D.);
- Oxigênio dissolvido em porcentagem;
- Salinidade;
- Potencial de Oxidação/Redução (ORP)

Figura 7 – Sonda multi parâmetros HORIBA U50



Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 8 – Sonda multi parâmetros HORIBA U50 em operação



Fonte: Próprio autor (2018).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Quanto à corrosão

5.1.1. Tubulação

Na tubulação, fabricada em ferro fundido dúctil, verificou-se três tipos de corrosão espalhados por alguns trechos. Na Figura 9, pode-se observar nitidamente que os tipos de corrosão presente, são a corrosão alveolar, caracterizada pela formação de “crateras” em forma de alvéolos, na superfície do material, e a corrosão uniforme, visto que a mesma se dá por toda a extensão da superfície do objeto, e tem como principal característica a perda uniforme de espessura, chamada também de corrosão generalizada, segundo Oliveira (2012).

Figura 9 – Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23)



Fonte: Próprio autor (2018).

A tubulação está exposta às condições atmosféricas, como a chuva, por exemplo e a umidade do ar, além de estar em contato direto com o solo. Logo, os meios corrosivos neste caso, são o ar e o solo. Além disso, por se tratar de uma

adutora, a umidade ocasionada pela presença de água também influencia diretamente nesse processo. A seguir, nas Equações 1, 2 e 3, temos as reações de oxi-redução do ferro e umidade (água + oxigênio).

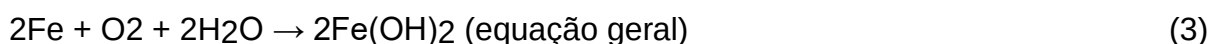
Equação 1 – Equação de oxidação do ferro



Equação 2 – redução do oxigênio



Equação 3 – Equação ou reação global



Onde, na primeira reação temos a oxidação do ferro, depois a redução do oxigênio e, em seguida, temos a equação ou reação global.

Nesse caso, pode ser feita a remoção dos produtos da corrosão, a limpeza do material e, em seguida, deve-se realizar uma pintura, aplicando o revestimento do material por meio de uma tinta que apresente em sua composição, um metal que seja mais reativo que o Ferro.

O outro tipo de corrosão encontrado na tubulação foi a corrosão galvânica, que é evidenciada na junção de dois metais diferentes, conforme Figura 10. A corrosão galvânica surgiu em virtude de materiais com composições diferentes: a tubulação e a presilha.

Figura 10 – Parte da tubulação da adutora, localizada no início da cidade de Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23)



Fonte: Próprio autor (2018).

Como o material em questão, trata-se do mesmo discutido anteriormente, consequentemente, apresenta as mesmas condições operacionais e está exposto aos mesmos meios já discutidos anteriormente.

Nesse tipo de caso, uma alternativa seria colocar uma camada de material isolantes entre a tubulação e a presilha, como uma borracha ou polímero, por exemplo, para impedir a junção do material metálico com a junta.

5.1.1.2. Identificação do triângulo de corrosão

Material: Ferro fundido

Condições operacionais do objeto destacado: nas duas imagens, as partes da tubulação da adutora mostradas, estão em contato direto com o solo, a temperatura e a tensão em alguns pontos. Além disso, como servem para transportar a água, a umidade influencia no processo corrosivo.

Meio: estão expostas às condições atmosféricas, como chuva, sol e umidade relativa do ar e, também, a umidade ocasionada pela passagem da água por seu interior. Tem também o solo, visto que algumas partes estão enterradas, e outras

não.

5.1.2. Braçadeiras de junção

Nas braçadeiras que servem dentre outras coisas para unir as partes da tubulação, identificou-se a forma de corrosão uniforme em algumas partes da superfície do material, como pode-se observar na Figura 11.

Figura 11 – Braçadeiras de junção da tubulação, localizada no início da cidade de Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23)



Fonte: Próprio autor (2018).

Visto que o material está em contato com a tubulação, que se encontra em contato direto com o solo, os meios corrosivos em questão, são as condições atmosféricas, e o solo.

Como pode ser observado, teve-se um cuidado em aplicar uma tinta na superfície do material. No entanto, o método aplicado, não foi totalmente eficaz, talvez por a tinta utilizada não ter sido a adequada para o material e o meio em questão.

A técnica para esse caso, também pode ser feita através da remoção dos produtos da corrosão e, em seguida, deve-se realizar uma pintura, que servirá como

um revestimento para o material.

5.1.2.1. Identificação do triângulo de corrosão

Material: ferro

Condições operacionais: o material está sujeito ao atrito ocasionado pela união do mesmo com o material da tubulação da adutora e, também está em contato direto com o solo em alguma de suas partes.

Meio: o objeto está exposto às condições atmosféricas, como chuva, sol, umidade do ar, e o solo.

5.1.3. Parafusos dos equipamentos

Nos parafusos de fixação dos equipamentos identificou-se a corrosão por placas em algumas partes da superfície do material, caracterizada pelo desprendimento de fragmentos do mesmo, e identificou-se também a corrosão uniforme em algumas partes da superfície desses parafusos, como mostra as Figuras 12 e 13.

Figura 12 – Parafusos de fixação, localizada no início da cidade de Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23)



Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 13 – Parafusos de fixação, localizada no início da cidade de Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23)



Fonte: Próprio autor (2018).

Para este caso, o meio corrosivo são as próprias condições atmosféricas, como a umidade do ar, por exemplo. Como a corrosão se dá pela interação entre o metal e o oxigênio, o processo é eletroquímico. Os parafusos estão também, sujeitos à fadiga e à tensão causados pelas solicitações mecânicas ocasionadas pelo torque aos quais os mesmos estão submetidos.

Nos parafusos, pode ser aplicada apenas a pintura protetora como forma de tratar e evitar a corrosão.

5.1.3.1. Identificação do triângulo de corrosão

Material: aço

Condições operacionais: estão sujeitos à fadiga e à tensão causados pelas solicitações mecânicas ocasionadas pelo torque aos quais os mesmos estão submetidos.

Meio: condições atmosféricas, como a umidade do ar e precipitações pluviométricas.

5.1.4. Válvula de gaveta

Na válvula de gaveta, equipamento comumente utilizado em sistemas de

água bruta, verificou-se a corrosão por placas, identificável pelo desprendimento de fragmentos do material, assim como corrosão uniforme nos parafusos que fazem a sua fixação como os demais equipamentos, como mostra as Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Válvula de gaveta da adutora, localizada no início da cidade de Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23)



Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 15 – Parafusos que fixam a válvula de gaveta da adutora, localizada no início da cidade de Pau dos Ferros-RN, Bairro João XXIII (23)



Fonte: Próprio autor (2018).

Para este caso, o objeto está em contato direto com as condições atmosféricas, além de estar em contato direto com a tubulação que, por sua vez,

está em contato direto com a água e, conseqüentemente exposta à umidade da mesma, contribuindo assim, para a aceleração do processo corrosivo no metal. Como o processo corrosivo se dá também pela interação do metal com o oxigênio do ar atmosférico, esse processo também se caracteriza como um processo eletroquímico.

Visto que a água passa por esse equipamento, é necessário que seja realizado a manutenção do mesmo periodicamente, a fim de evitar o desgaste excessivo do mesmo, o que pode contribuir para a contaminação da água devido os fragmentos que se desprendem e pode ser levados pela mesma, tornando-a imprópria para consumo humano, podendo acarretar problemas de saúde para quem fizer uso da mesma. Inicialmente, o reparo pode ser feito através do lixamento do material e posterior aplicação da camada de tinta protetora.

5.1.3.1. Identificação do triangulo de corrosão

Material: Ferro fundido

Condições operacionais: o material opera com a função de liberar ou bloquear a vazão da água que passa pela tubulação da adutora, de modo que a mesma fica em contato direto com a água, ficando assim, constantemente exposta à umidade.

Meio o objeto está em contato direto com as condições atmosféricas, além de estar em contato direto com a tubulação que, por sua vez, está em contato direto com a água e, conseqüentemente exposta à umidade da mesma, contribuindo assim, para a aceleração do processo corrosivo no metal.

5.2. Quanto à análise da água

Após análise da qualidade da água, feita por meio da Sonda multi parâmetros HORIBA U50, a partir de amostras de água coletadas no próprio manancial que abastece a adutora, (barragem de Apodi-RN), e em ruas diferentes da cidade de Pau dos Ferros-RN, com o intuito de se comparar os efeitos que a corrosão presente na adutora pode provocar na água após a mesma passar por sua tubulação, obteve-se os dados mostrados na Tabela 1, como pode ser observado a seguir:

Tabela 1 – Parâmetros analisados referentes à qualidade da água

PARÂMETRO ANALISADO	Coletada na Barragem de Apodi-RN	Coletada na Rua Cristina Diógenes Nunes (Pau dos Ferros-RN)	Coletada na Rua Francisco Dantas (Pau dos Ferros-RN)
Temperatura (°C)	24,77	27,25	26,9
pH	5,24	5,68	6,14
ORP (potencial de oxidação/redução)	273	274	268
Condutividade elétrica (mS/cm)	0,40	0,44	0,46
Turbidez	0	0	0
Oxigênio dissolvido(mg/L)	8,14	7,19	6,94
Oxigênio dissolvido (%)	98,5	92,5	88,2
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	271	287	303
Salinidade	0,2	0,2	0,2

Fonte: Próprio autor (2018)

Ao se fazer uma análise comparativa dos dados presentes na Tabela 1, percebeu-se uma modificação em alguns parâmetros após passarem pelas tubulações da adutora, como é o caso do oxigênio dissolvido tanto em (mg/L), quanto em (%), visto que houve uma diminuição do mesmo comparado à quantidade presente na água coletada no próprio manancial que abastece a adutora, (barragem de Apodi-RN).

Essa concentração de oxigênio dissolvido na água interfere diretamente no aumento da taxa de corrosão, uma vez que a taxa com que o oxigênio atinge a superfície de um metal influencia a corrosão e determinará se a mesma no metal, nesse caso a tubulação da adutora, será aeróbica ou anaeróbica. Essa taxa de

oxigênio dissolvido, também acelera as ações do dióxido de carbono, do sulfeto de hidrogênio e de outros gases e sólidos (CIMM, 2018).

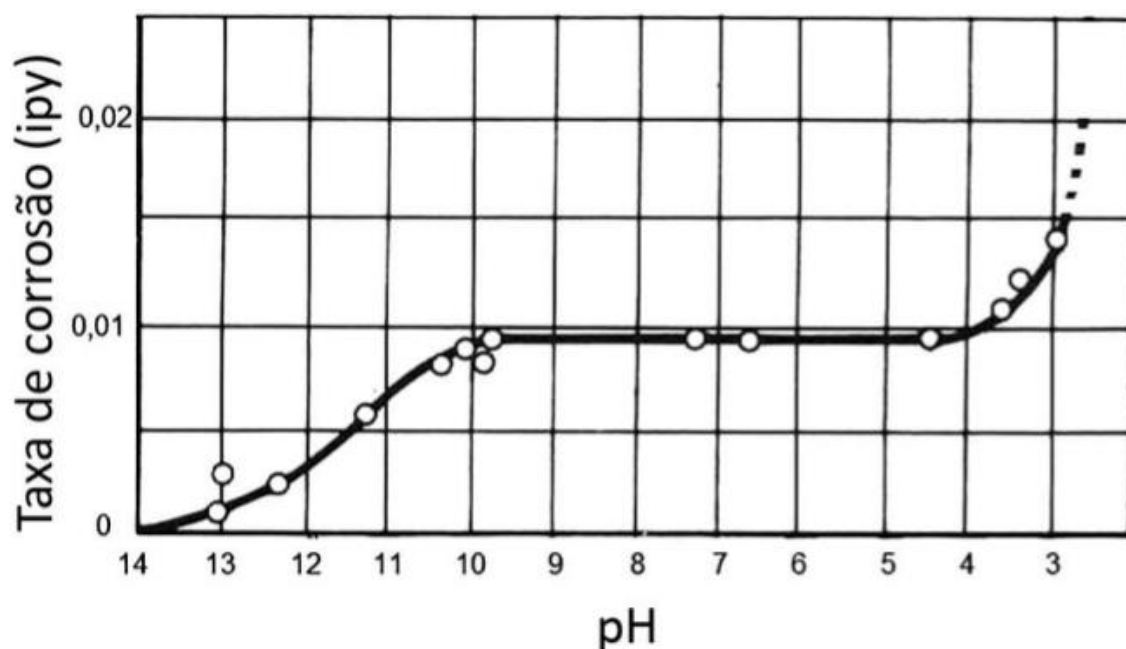
A taxa de corrosão e a taxa de oxigênio dissolvido na água apresentam uma relação diretamente proporcional, uma vez que quando os metais se encontram na presença de oxigênio e água (O_2 e H_2O), eles tendem a sofrer oxidação mais rapidamente (MAIA *et al.*, 2015).

Outro parâmetro que sofreu modificação, foi a quantidade de sólidos totais dissolvidos na água (STD), que tiveram um aumento nas amostras de água coletadas na cidade, que pode ter sido causado, dentre outros fatores, pela presença de fragmentos da tubulação que se desprendem devido o processo corrosivo na mesma e, quando em grandes concentrações, pode tornar a água imprópria para consumo humano, pode trazer problemas de saúde para a população que consome essa água. Os teores de STD obtidos Nesse estudo, foram inferiores a 500 mg/L, que de acordo com a resolução CONAMA 357, classifica essa água no padrão de qualidade para águas doces classe I, II e III (CONAMA, 2005).

O pH foi outro parâmetro que sofreu modificação comparado ao pH presente na água da própria barragem, visto que o mesmo sofreu um aumento nas amostras de água coletadas na cidade. No entanto, apenas em uma das amostras, (Rua Francisco Dantas-RN), pH = 6,14, esse parâmetro se apresentou como adequado de acordo com Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, que recomenda que o pH da água seja mantido entre 6,0 e 9,0.

A relação entre a taxa do pH e a velocidade da taxa de corrosão, pode ser observada na Figura 16. percebe-se que para valores de pHs abaixo de 4, ocorre um aumento da corrosão. 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. Já quando os valores de pHs são maiores que 10, a taxa de corrosão diminui, pois há um aumento da alcalinidade do meio e o ferro se torna passivo em presença de álcalis e oxigênio dissolvido (MAIA *et al.*, 2015).

Figura 16 – Relação entre o pH e o aumento da taxa de corrosão



Fonte: Gentil (2011)

De uma maneira geral, percebe-se uma influencia na qualidade da água com alteração de alguns parâmetros dessa água após a mesma passar pela tubulação da adutora, causada pela corrosão nos equipamentos da mesma visto que muitos desses parâmetros como por exemplo o pH e a taxa de oxigênio dissolvido, que apresentam relação direta com essa taxa de corrosão.

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos através desse estudo, pôde-se observar que a adutora de engate rápido da cidade de Pau dos Ferros-RN, apresenta uma quantidade considerável de problemas ocasionados pelo processo corrosivo e, conseqüentemente, alguns de seus equipamentos apresentam-se em estado total ou parcial de deterioração e, de acordo com informações da assessoria de comunicação da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), a vida útil da adutora emergencial, que teve um custo de aproximadamente R\$ 13 milhões, chegou ao fim, uma vez que apesar dos esforços voltados para resolver problemas provenientes de vazamentos, a adutora não estaria mais servindo para o seu propósito. A estatal não apresentou também, uma solução para o problema a curto prazo (COBRA, 2018).

A partir desse estudo também foi possível realizar a análise individual dos equipamentos identificando para cada caso, o meio corrosivo no qual o metal se encontra, quais as condições operacionais aos quais o mesmo está exposto, contribuindo para acelerar a deterioração do mesmo ocasionada pela corrosão e, também, através desses dados escolher a melhor forma de proteção e tratamento da corrosão no material.

De posse desses dados, foi possível perceber que o meio atmosférico juntamente com a umidade ocasionada pela presença de água na adutora, foram fatores decisivos para acelerar a deterioração dos equipamentos, aliados com a falta de manutenção e as técnicas de proteção inadequadas adotadas logo na fase de projeto da adutora.

A partir de análise laboratorial de coletas de amostras de água coletadas em dois pontos diferentes da cidade de Pau dos Ferros-RN e uma na barragem da cidade de Apodi-RN, (local de onde é feita a distribuição de água para a referida adutora), pôde-se constatar que a água apresenta alguns parâmetros que sofrem modificações ao chegarem nas residências da população após passarem pela tubulação da adutora.

Alguns desses parâmetros são, a quantidade de oxigênio dissolvido em (%), que sofre uma diminuição de seu percentual após passar pela tubulação e, principalmente a quantidade de sólidos totais dissolvidos na água que, após

passarem pela tubulação tem sua quantidade aumentada e, quando em quantidades consideravelmente altas, pode tornar a água imprópria para consumo humano, podendo acarretar problemas de saúde para quem fizer uso da mesma.

Em virtude dos resultados encontrados após a realização desse estudo, aponta-se como possíveis soluções protetoras a aplicação do revestimento protetor através da pintura na maioria dos casos, a manutenção periódica de alguns equipamentos e em casos mais extremos como a própria tubulação da adutora, seria viável a realização da substituição da mesma, visto que a maioria de seus trechos encontra-se em completo estado de deterioração ocasionada pela corrosão.

Por fim, observa-se que esse estudo possibilitou informações importantes acerca do processo corrosivo na adutora que abastece a cidade de Pau dos Ferros-RN, bem como características da água fornecida por essa adutora para a população, contribuindo de forma significativa para futuras pesquisas na área, possibilitando por exemplo, fazer análises mais aprofundadas sobre o tema.

REFERÊNCIAS

ABGLAVA. **Dados do setor**. 2017. Disponível em: <<http://abgalva.org.br/preco-de-metais/dados-do-setor/>>. Acesso em: 09 abr. 2018.

AGUABRASIL. **Glossário Saneamento e Meio Ambiente**. 2010. Disponível em: <<https://www.aguabrasil.iciet.fiocruz.br/index.php?pag=sane>>. Acesso em: 06 mar. 2018.

ARAUJO, Anne Aguiar de. **Gerenciamento de Falhas por Corrosão em Dutos**. 2012. 170 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/20714/20714_1.PDF>. Acesso em: 02 mar. 2018.

ASSECOM/RN. **Obras da adutora de engate rápido de Pau dos Ferros somam 5 quilômetros**. Pau dos Ferros: Secretaria de Estado da Justiça e da Cidadania, 2014. Disponível em: <<http://www.sejuc.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=23476&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=Materia>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218: **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro: Abnt, 1994. Disponível em: <<http://www.emiliaweb.com.br/site/wp-content/uploads/2012/10/Nbr-12218-Projeto-De-Rede-De-Distribuicao-De-Agua-Para-Abastecimento-Publico.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2018.

BARBOSA, João Paulo. **Proteção Catódica em Tubulações Industriais**. Espírito Santo: Sonoro Video, 2012. Color. Disponível em: <[ftp://ftp.sm.ifes.edu.br/professores/JoaoPaulo/Tubulação Industrial/Aula_14 - Proteção Catodica.pdf](ftp://ftp.sm.ifes.edu.br/professores/JoaoPaulo/Tubulação%20Industrial/Aula_14_-_Proteção_Catodica.pdf)>. Acesso em: 04 mar. 2018.

CIMM. **Corrosão em água doce**. Disponível em:

<https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6347-corrosao-em-agua-doce#.Wrjq5XAzrDc>. Acesso em: 24 mar. 2018.

COBRA, Blog do. **CAERN afirma que adutora de Pau dos Ferros atingiu limite máximo de utilização.** 2018. Disponível em: <<http://blogdocobra.com/caern-afirma-que-adutora-de-pau-dos-ferros-atingiu-limite-maximo-de-utilizacao/>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União**, n. 53, 18 mar. 2005, p. 58-63.

DCALDEIRA. **Adutoras.** Engenharia: Slideshare, 2014. 36 slides, color. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/dcaldeira/cap6-adutoras>>. Acesso em: 04 fev. 2018.

DIÁRIO DO COMÉRCIO. Minas Gerais, 07 jun. 2008. Disponível em: <http://diariodocomercio.com.br/noticia.php?tit=os_danos_da_corrosao_na_economia_id=101214>. Acesso em: 20 fev. 2018.

GENTIL, V. **Corrosão.** 3 ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e Científicos, 1996.

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

KNAPIK, Heloise G. **Sistema de Captação Subterrânea, Adução e Estações Elevatórias.** Paraná: Power Point, 2017. 48 slides, color. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~heloise.dhs/saneamento_ambiental_I/Aula04_TH018.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2018.

MAGNAN, Murilo de Carvalho. **Pintura na Proteção Anticorrosiva.** Trabalho de Conclusão de Curso—Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011.

MAIA, Daltamir Justino et al. **Experimento sobre a Influência do pH na Corrosão do Ferro**. 2015. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37_1/11-EEQ-69-13.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2018.

MASTERTON, William L.; SLOWINSKI, Emil J.; STANITSKI, Conrad L. **Princípios de química**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 698 p.

METAIS/GALVANIZAÇÃO, Ztec. **Corrosão**. Disponível em:

<<http://www.ztecmetais.com.br/corrosao/index.html>>. Acesso em: 06 fev. 2018.

NUCASE. **Abastecimento de água**: Construção, operação e manutenção de redes de distribuição de água: guia do profissional em treinamento: nível 2. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. 104 p. Disponível em: <<http://nucase.desa.ufmg.br/wp-content/uploads/2013/04/AA-COMR.2.pdf>>. Acesso em: 08 fev. 2018.

OLIVEIRA, A. R. Corrosão e tratamento de superfície. Belém: IFPA; Santa Maria: UFSM, 2012.

RAMOS, Josy Eliziane Torres. **Corrosão**. Pau dos Ferros: Libreoffice Impress, 2016. Color.

SAAE. **Sistemas de tratamento de água**. Aracruz, 2006. 10 p. Disponível em: <https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2018.

SOUTO, Lucas Valente; LIMA, Daniela de Freitas; BARRETO FILHO, Boanerges de Freitas. O Nordeste e a Escassez de Água: uma abordagem da Microrregião de Pau dos Ferros/RN. In: ENANPUR, 17., 2017, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: St, 2017. p. 1 - 16. Disponível em: <http://anpur.org.br/xviienanpur/principal/publicacoes/XVII.ENANPUR_Anais/ST_Soes_Tematicas/ST_4/ST_4.6/ST_4.6-03.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2018.

STEIL, Amanda. **meios corrosivos**. Rio de Janeiro: Mindmeister, 2012. Color.

Disponível em: <<https://www.mindmeister.com/pt/155075310/meios-corrosivos>>.
Acesso em: 02 mar. 2018.

Transversal: **lodo gerado durante o tratamento de água e esgoto** : guia do profissional em treinamento : nível 2 / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Brasília : Ministério das Cidades, 2008. 90 p.
Disponível em: <<http://nucase.desa.ufmg.br/wp-content/uploads/2013/07/lodo-gerado.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2018.