

EVIDÊNCIAS DAS CONTRIBUIÇÕES À POTABILIDADE DA ÁGUA PELA CORROSÃO DE CONDUTOS DE FERRO FUNDIDO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Bárbara Tyemi Edagi Fudaba

Tecnóloga em Hidráulica e Saneamento Ambiental pela FATEC-SP (Faculdade de Tecnologia de São Paulo); Técnica em segurança do trabalho pela ETEC (Escola Técnica Estadual) Takashi Morita; Graduanda em Engenharia Civil na USJT - (Universidade São Judas Tadeu). Cargo: Tecnóloga em hidráulica e saneamento ambiental no setor de engenharia e consultoria em saneamento ambiental.

William Paulo Ribeiro dos Santos

Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro Universitário Jorge Amado, Pós-graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho - Universidade Estácio de Sá.

Endereço: Rua Utuamba, 103 – Jd. Casablanca – São Paulo – SP – CEP 05846430 – Brasil – Tel: +55 (11) 99524-8191 – e-mail: barbara@inbconsultoria.com.br ou barbara.tyemi@hotmail.com

RESUMO

A água é o recurso natural imprescindível para a sobrevivência humana, usado para o desenvolvimento de diversas atividades, como o abastecimento para os bens de consumo, atividades agrícolas e pecuárias, produção de energia, entre outras. Muito embora seja considerada um bem renovável, a água é um bem restrito, submetida a diferentes formas de privação e extinção. Visando promover um despertar sustentável e zelando pela difusão do conhecimento acerca da integridade e excelência na prestação dos serviços de saneamento, em especial, o abastecimento de água, que foi levantado neste artigo as principais causas, adversidades e formas de enfrentamento, relacionadas às contribuições das estruturas de ferro fundido na qualidade da água, acometidos pelos processos de corrosão do seu revestimento interno. Diante dos resultados apresentados, o trabalho segue com intuito de servir de ponto de partida para novas pesquisas e formação de opinião.

PALAVRAS-CHAVE: Potabilidade, Abastecimento, Tubulações de Ferro Fundido.

INTRODUÇÃO

É inegável admitir que o abastecimento de água é um dos serviços mais indispensáveis e primordiais à vida, o qual atende às necessidades fisiológicas e as atividades dentro da esfera econômica, como atividades agrícolas, industriais, entre outras. Cabe salientar, que o processo no abastecimento de água pode contemplar um conjunto de adversidades, podendo citar, a corrosão nas tubulações nos sistemas de abastecimento, que propiciam a contaminação e diminuem a qualidade da mesma para o consumo humano. Sabe-se que a deterioração causada pelo material e o meio corrosivo ocasiona a perda de propriedades mecânicas e a funcionalidade do sistema (MACIEL, 2019). Ressaltando, que esta problemática não afeta apenas o mecanismo do sistema, mas compromete outros fatores de ordem social, econômico e ambiental, como na saúde pública, gestão de recursos financeiros, etc.

Tais problemas, propiciam a deterioração da qualidade da água no sistema de distribuição, devido às modificações causadas na superfície interna das tubulações, resultando em gosto, odor e problemas estéticos no abastecimento de água, podendo também ocasionar problemas de saúde. Considerando o sistema de abastecimento de água convencional, desde a captação no afluente, estação de tratamento, estação elevatória, adução, reservatórios e rede de distribuição, as adutoras são um meio de transporte de água efetivo e assegurado diante da crise hídrica em determinadas regiões do país.

A qualidade na prestação de serviços, com foco no monitoramento e manutenção desses sistemas é fundamental. Observar quando as tubulações estão em estado crítico e oferecendo potenciais ameaças ao bem estar e saúde da população deve ser feito de forma contínuo e bem assistido. Com vistas a garantir uma melhor contemplação dos serviços, atendendo as diretrizes das resoluções de âmbito regional e nacional, que soluções concentradas e distribuídas de forma compatível e adequada a população são tomadas visando sanar os danos causados e prevenir de futuros.

Soluções distintas trazendo inovações tecnológicas para superar os entraves desse quadro, buscam minimizar através da substituição de materiais por outros mais resistentes às intempéries, evitando gastos com manutenção, atrasos em demandas do cotidiano tem se tornado uma realidade. O trabalho busca trazer a elucidação desses pontos, dando ênfase às causas e possíveis soluções.

OBJETIVOS

Objetivo geral

O presente artigo busca trazer os principais desafios e formas de enfrentamento relacionados ao uso das tubulações de ferro fundido para adução de água para abastecimento humano.

Objetivos específicos

- Ressaltar a importância dos serviços de abastecimento de água;
- Mostrar as principais particularidades e funcionalidades do ferro fundido, entraves com eventos de corrosão e incrustações;
- Elucidar os principais problemas voltados a saúde pública;
- Apresentar as possíveis soluções.

METODOLOGIA UTILIZADA

O trabalho foi desenvolvido através de pesquisas bibliográficas, tomando como base materiais publicados em livros, artigos e teses que forneceram aporte para a elaboração da teoria acerca da problemática do tema. Este trabalho tem como estudo a apresentação das características e evidências dos efeitos da corrosão em adutoras, e sua potencial contribuição à qualidade da água e integridade da saúde humana.

REFERENCIAL TEÓRICO

A essencialidade da água para sobrevivência e desenvolvimento da sociedade é vastamente reputada e reconhecida na atualidade. Dessa forma, os sistemas de abastecimento de água visam fornecer à população água potável de qualidade, e em quantidade compatível e adequada (GARCIA et al, 2013). Neste âmbito, objetivando o entendimento de um sistema de abastecimento de água e a sua importância, torna-se fundamental conhecer e compreender as atribuições dos seus componentes. Via de regra, os sistemas de abastecimento de água são constituídos pelos mananciais, que são os corpos hídricos onde a água é captada; pelos pontos de captação, sendo o conjunto de estruturas que retiram água dos mananciais; estações elevatórias, responsáveis por aumentar a pressão ou a vazão nas redes de distribuição e adução; pela adutora, sendo esta a canalização que abastece as unidades que precedem a rede de abastecimento; as estações de tratamento, onde se trata a água bruta para torná-la potável; os reservatórios, responsáveis por armazenar água, regular as variações entre as vazões de adução e de distribuição, apropriando as pressões do sistema; e por fim as redes de distribuição, que são as redes de tubulações incumbidas por levar água tratada até a população (GARCIA et al, 2013). A Figura 1 apresenta as etapas no processo de abastecimento de água.



Figura 1: Etapas do abastecimento de água.

O abastecimento de água em boa qualidade e quantidade vai além do desenvolvimento econômico e da dessedentação. A água, quando bem tratada e distribuída, traz diversos benefícios à saúde pública, uma vez que é indispensável no preparo de alimentos, na hidratação, possibilita a higienização de ambientes entre outros usos. Ademais a distribuição de água tratada traz conforto e bem estar para todas as camadas da sociedade.

O tratamento da água tem por objetivo eliminar as impurezas prejudiciais e nocivas à saúde e visa melhorar a qualidade natural da água sob o aspecto sanitário, com a eliminação de bactérias, protozoários e outros organismos, assim como elementos venenosos e o teor excessivo de compostos orgânicos (SANTOS, 2020). Dentro deste aspecto, a água possui influência determinante no controle e prevenção de doenças, hábitos de higiene, como asseio corporal e limpeza em geral, nos serviços de limpeza pública, etc. Dentro do aspecto econômico, é visto o zelo e a concessão do aumento de vida média da população, ligado a redução da mortalidade em geral e, em particular, da mortalidade infantil. É visto também que a manutenção desta área propicia a diminuição de horas perdidas de trabalho ligadas a doenças de veiculação hídrica, acarretando também a baixa no desenvolvimento de um referido setor (seja industrial, comercial, entre outros). De acordo com Santos (2020), este aspecto também visa proporcionar a redução da corrosividade, dureza, ferro, entre outros fatores no âmbito do fornecimento de água.

Segundo Sobrinho e Correia (2016), para a escolha dos materiais das adutoras deve ser considerado aspectos que não interferiram nas propriedades físico-químicas da água; na rugosidade com o decorrer do tempo; na estanqueidade; assim como na resistência química, mecânica, e às pressões estáticas, dinâmicas e também à fenômenos transitórios; além de considerações econômicas, como nos custos das tubulações, instalação, aspectos construtivos, necessidade de proteção a anticorrosiva, manutenção, e entre outros.

Os principais materiais utilizados em tubulações e adutoras são os metálicos, tais como o aço e ferro fundido dúctil, e os materiais não metálicos que são o polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP), PVC e poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV).

De acordo com ZALAMENA, et al (2018), os materiais mais aplicados nas adutoras para médio e grande porte são de ferro fundido, aço, e recentemente, o polietileno de alta densidade. Como qualquer outro material, possuem vantagens Evento: XIX Jornada de Extensão e desvantagens. Ademais, faz-se necessária uma observação para a escolha, pois além do custo, deve-se analisar também a facilidade de execução, a segurança operacional e a viabilidade financeira. O material escolhido vai influenciar diretamente na prestação de serviço e no deslocamento do fluido ABES (2017).

O processo e os resultados da corrosão nos sistemas de abastecimento se configuram em um dos obstáculos mais ostensivos a ser superado nesse meio. Reconhecido em virtude das suas propriedades e aplicabilidades, a utilização do ferro fundido se consolidou nas mais variadas atividades e setores ao longo dos anos. No entanto, a utilização desse material deve ser sempre assistida, visando evitar futuros desgastes e transtornos. É de

fundamental importância conhecer as vantagens e limitações na utilização do ferro fundido para adução da água.

ESTRUTURA E PARTICULARIDADES DO FERRO FUNDIDO

É de conhecimento que a utilização do ferro fundido com fins de abastecimento para consumo humano remonta de épocas remotas, perdurando até os dias de hoje. O ferro é um dos mais notórios e mais difundidos metais do mundo moderno, possuindo aplicabilidades em diversas áreas. Nesse contexto, as ligas metálicas denominadas aços e ferros fundidos são constituídas pela combinação de ferro (Fe) e carbono (C). O ferro fundido constitui uma liga de ferro em mistura eutética, tendo elementos à base de carbono e silício, com teor de carbono que varia entre 2,11% e 6,67%. Por outro lado, as ligas de aço têm em sua composição uma variação no teor de carbono entre 0,008 e 2,11% (SAMPAIO, 2016).

Pelo fato de o aço possuir menor teor de carbono, este se configura em um material mais dúctil e que possibilita a sua modelagem por meio de processos como forjamento, laminação e extrusão, assim como fundição. O aço por sua vez destaca-se por possuir deformação visível antes de fraturar. Em contrapartida, os ferros fundidos, por possuírem uma alta concentração de carbono, necessitando ser fabricados em processos de fundição e usinagem (SAMPAIO, 2016). Habitualmente, a disposição de ferro fundido é conseguida pela comparação visual de micrografias ópticas com cartões de código da norma ISO-945. Inevitavelmente, uma comparação visual comum é subjetiva, não podendo ser automatizada em um ambiente industrial (FRANCKLIN, 2009, apud SAMPAIO, 2016).

As tubulações de ferro fundido proporcionam uma alta resistência às pressões positivas e negativas, às cargas externas e aos choques mecânicos durante o transporte e assentamento. Sabe-se, que no decorrer dos anos de uso, as tubulações de ferro fundido formam incrustações na parede interna no momento em que a água é transportada. Nesse processo, há uma baixa no pH, elevando a sua rugosidade, proveniente da redução gradativa da vazão de escoamento. Os ferros fundidos possuem valor essencial para a indústria devido às suas qualidades essenciais (SAMPAIO, 2016).

Segundo Landi (1993), o ferro não possui uma vida útil longa, apresentando uma série de desvantagens, tais como: ferrugem, condução de calor, além do já citado fenômeno de encrostação. Esses fatores fazem com que haja um maior resguardo e atenção especial com relação a escolha desse tipo de material com fins de uso em tubulações. Neste âmbito, é possível destacar algumas particularidades fundamentais para o ferro fundido, como suas qualidades mecânicas relacionadas à sua microestrutura, mais pontualmente, pela forma em que o carbono está configurado: na forma de grafita, proporcionando dureza baixa, resistência mecânica pouco expressiva e boa usinabilidade; e no formato de cementita, possuindo dureza elevada, alta resistência mecânica e ao desgaste e baixa tenacidade (SAMPAIO, 2016).

Em decorrência destas características, o ferro fundido é avaliado como um material seguro, sendo também inteiramente reciclável e quimicamente estável em todo seu ciclo de vida, não havendo necessidade de tratamento dos resíduos de fabricação (SAMPAIO, 2016). Ainda é possível citar mais vantagens, como a aversão ao fogo, uma vez que é um material incombustível, impossibilitando propagação do fogo; resistência mecânica, resistência aos acidentes de manuseio e estocagem (Figura 2).



Figura 2: Acondicionamento e empilhamento de tubos de ferro fundido.

Dessa maneira, as tubulações de ferro fundido, em casos individuais, propiciam uma elevada resistência a cargas externas e a corrosão, atribuída a uma grande resistência a ataques químicos e a altas temperaturas, sendo habitualmente aproveitados em situações particulares, como em locais de trânsito intenso e com recobrimento não muito expressivo; em tubulações assentadas em grandes profundidades, superiores aos limites de carga dos outros materiais; casos de tubulação aparente e de passagem de obstáculos e áreas de declividade acentuada, vãos de pontes e rios.

A fabricação dos tubos de ferro fundido se dá por meio do processo de recozimento em fornos contínuos, sucedido por um processo de centrifugação do metal fundido em formas, seguidamente com a aplicação das pinturas de proteção do metal. Por outro lado, as conexões são produzidas através de fundição em areia, das quais são submetidas por usinagem para retirada de rebarbas e limpeza (SAMPAIO, 2016).

Das suas particularidades, quando observado o seu uso na construção civil, é possível destacar dois tipos, sendo estes os identificados para condutos livres (do tipo esgoto) e os identificados a tolerar pressão interna (do tipo pressão). Os tipos esgoto são aqueles fabricados com ponta e bolsa, enquanto os tipos pressão são produzidos com ponta e bolsa, flanges e juntas especiais.

De acordo com Sobrinho e Correia (2016), as tubulações de ferro fundido dúctil podem ser classificadas conforme seu diâmetro que varia em 16 opções de 50 a 1200 mm; comprimento de 06 a 08 metros; classes: K-9, K-7 e 1 MPa; revestimento interno com argamassa de cimento; revestimento externo com zinco e pintura betuminosa.

Dessa maneira, quando comparada a certos tipos de materiais, o ferro fundido proporciona a anulação de qualquer risco de falha humana durante a montagem, concebendo a criação de juntas totalmente estanques e resistentes à pressão, apresentando resistência a golpe de aríete, elevações de pressão; isolamento acústico, uma vez que o material impossibilita a transmissão transversal dos ruídos, com a atuação conjunta das juntas providas de anéis de borracha, retirando o contato entre tubos e conexões, em oposição à propagação das ondas sonoras. (SAMPAIO, 2016). Na Figura 3, é possível verificar a dimensão de alguns tubos de ferro fundido destinados para composição de uma adutora.



Figura 3: Estoques de tubos de ferro fundido com revestimento interno.

As adutoras de abastecimento são constituídas essencialmente de ferro fundido e aço, característica essa que potencializa o processo de corrosão na superfície interna provocada pelo contato com água. A corrosão constitui-se na deterioração em regiões específicas dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio (SOBRINHO e CONTRERA, 2016).

Os problemas da corrosividade nas tubulações de abastecimento de água podem decorrer de eventos de natureza sanitária, de condições ambientais específicas do local, e também de condições econômicas. O abastecimento realizado de forma adequada e compatível resulta na otimização das condições de vida e em proveitos, como o controle e prevenção de doenças de veiculação hídrica, aumento da expectativa de vida e da produtividade econômica (RAZOLLINI e GÜNTHER, 2008). No entanto, sabe-se que lapsos e imprecisões na

prestação destes serviços assolam os sistemas de abastecimento e propiciam a perda e qualidade da água, que são causados sobretudo pela corrosão nas tubulações metálicas das redes de distribuição.

ASPECTOS GERAIS DA CORROSÃO NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Resultante da ação do meio sobre um determinado material, resultando em sua deterioração, a corrosão é um processo natural encontrado em diferentes tipos de superfícies e reflete uma das causas primordiais de perdas econômicas. O controle da corrosão metálica tem relevância fundamental no setor econômico, técnico e ambiental. Regularmente, os processos reacionais que estimulam a corrosão são espontâneos (Figura 4), de natureza química, eletroquímica ou eletrolítica e possuem tendências a modificação das propriedades físico-químicas dos materiais. Integrada a esse contexto, é possível citar também a biocorrosão, da qual tem seu processo influenciado por microrganismos (GENTIL, 1996).



Figura 4: Processo de incrustação na parede interna de dutos de ferro fundido.

No âmbito do enfrentamento à corrosão, destacam-se em maior número, os inibidores de corrosão de caráter químico, os quais atuam de forma eficaz em qualquer tipo de processo corrosivo. Abrangentemente, os inibidores de corrosão possuem alto teor tóxico, os quais dificultam o seu manejo e descarte. Atualmente, os inibidores de origem vegetal têm ganhado mais notoriedade e interesse científico em decorrência da atividade microbiológica, assim como na ação de bloqueio a corrosão eletroquímica. Em complementar a este contexto, se enquadram em um contexto biotecnológico alternativo (FELIPE et al, 2013).

A permanência e tempo da infraestrutura dos sistemas de abastecimento de água, em complementar ao estresse contínuo desses sistemas, os quais levam em consideração as condições ambientais e operacionais que são submetidas, tem acarretado na sua degradação principalmente pelos seguintes aspectos: elevação da taxa de quebra de tubulações devido à degradação da integridade estrutural da tubulação, fator esse potencializado ainda mais com o aumento dos custos operacionais de manutenção, elevando também as perdas de água tratada e os custos sociais, como a paralisação do serviço, interrupção no tráfego de pessoas e veículos, descontinuações nos processos comerciais e industriais, e distúrbio da vida doméstica; diminuição da capacidade hidráulica das tubulações no sistema, acarretando em aumento do consumo de energia elétrica e redução da qualidade do serviço prestado; restrição e agravamento da qualidade da água no sistema de distribuição, por conta das alterações na superfície interna das tubulações, das quais podem resultar em gosto, odor e entaves estéticos no abastecimento de água, com também em problemas de saúde pública, em casos extremos. Em decorrência disso, as prestadoras de serviços de saneamento são impelidas a reparar, reabilitar ou substituir os diferentes componentes do sistema (Figura 5).



Figura 5: Processo de reparo e renovação das tubulações de ferro fundido.

O fenômeno de arraste, por parte da água, de produtos de corrosão, podendo destacar alguns tipos de óxidos de ferro, a torna inapropriada para o consumo humano e para demais usos. Neste âmbito, um dos indicadores mais comuns destes fenômenos é o aparecimento da ferrugem (GENTIL, 1996). A ferrugem é vista como sendo a formação da camada marrom avermelhada sobre superfícies metálicas, quando o ferro é exposto ao ar úmido ou à água saturada de oxigênio. A ferrugem apresenta uma composição variável, sendo primariamente um óxido férrico de composição variável $\text{Fe}_2\text{O}_3 + x \text{H}_2\text{O}$ (RUSSEL, 2000). A problemática básica associada à corrosão do ferro é relacionado ao seu processo de não formação de uma camada aderente, ocorrendo a descamação e a renovação contínua da superfície metálica a ser oxidada. Cabe ressaltar, que a ferrugem possui certa porosidade e permeabilidade à água. Este processo também é estimulado quando há presença de ácidos, sais e metais menos reativos e altas temperaturas.

A primeira etapa da corrosão do Ferro envolve a oxidação do ferro ao estado +2, apresentada na Equação 1:



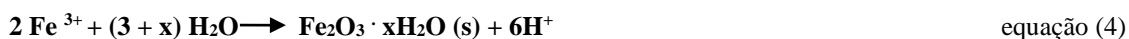
Nesta reação, o oxigênio é o agente de oxidante nesta reação (Equação 2):



Ainda há de ocorrer nesse processo uma segunda oxidação do Ferro, também feita pelo oxigênio, onde o mesmo é convertido em Fe (III), como mostra a Equação 3:



Enfim, o íon férrico é hidrolisado e precipita a ferrugem.



Os íons H^+ gerados nessa reação cooperam na redução do oxigênio. O Fe (II) pode ser transportado por difusão para qualquer outro ponto da superfície, elevando o depósito de ferrugem, enquanto os elétrons formados nas reações de oxidação geram a corrosão em pontos distantes do ponto de origem, mediante a condução metálica, a qual segue reduzindo o oxigênio (RUSSEL, 2000). O sistema se configura como uma célula galvânica potencialmente eficiente, com sítios catódicos e anódicos.

A Figura 6, apresenta a relação entre a taxa relativa de corrosão e da concentração de sais dissolvidos:

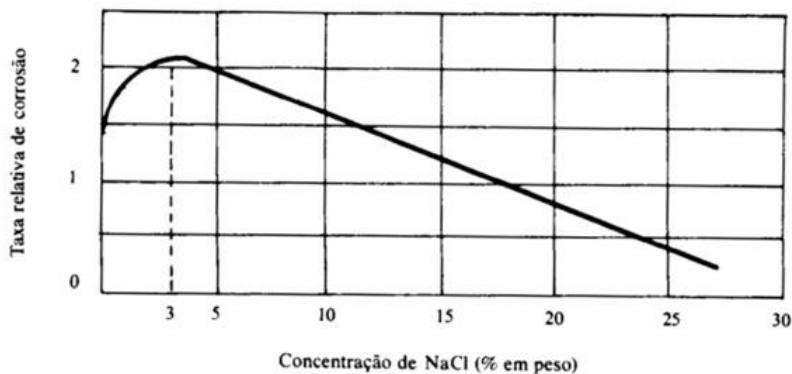


Figura 6: Relação taxa relativa de corrosão e concentração de NaCl.

A temperatura gera influência expressiva na solubilidade dos componentes dissolvidos na água. Na relação citada, tem-se o oxigênio como um dos principais gases dissolvidos; tendo também pH de teor ácido, trazendo o aumento da velocidade de corrosão (RUSSEL, 2000).

A NATUREZA DAS PAREDES DOS TUBOS DE FERRO FUNDIDO

Avaliando a natureza ou rugosidade das paredes, devem ser levados em consideração: o material utilizado na fabricação dos tubos; as etapas de fabricação dos tubos; o comprimento de cada tubo e número de juntas na tubulação; a técnica de assentamento; o estado de conservação das paredes dos tubos; a existência de revestimentos especiais e o emprego de medidas protetoras durante o funcionamento. (NETTO, 2015)

Os tubos de ferro fundido ou de aço, quando novos, possuem atrito quase desprezível e oferecem resistência menor ao escoamento quando em comparação aos tubos com anos de uso. Com o decorrer tempo, os tubos são atacados por eventos de natureza química relativos aos minerais contidos na água, e na sua superfície interna, os quais surgem incrustações ou reentrâncias, os quais caracterizam o fenômeno da corrosão, podendo ter essas condições pioradas com o tempo (Figura 7).

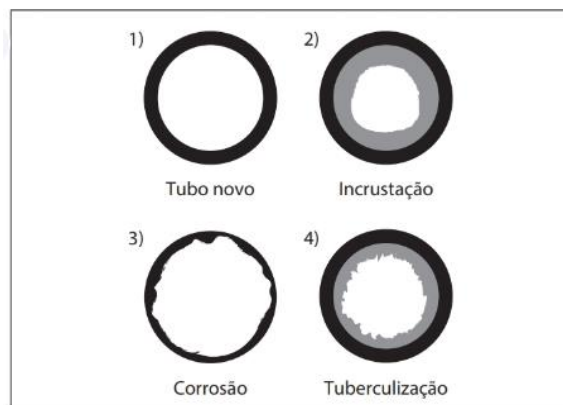


Figura 7: Alterações na superfície interna do tubo.

Outro evento que pode acontecer nas canalizações é a deposição progressiva de substâncias contidas nas águas e a sucessiva formação de camadas aderentes, as quais diminuem o diâmetro útil dos tubos e modificam a sua rugosidade. Tais incrustações são mais observadas no caso de águas mais duras, com maiores teores de impurezas específicas (Figura 8). Dentre estes, o evento mais comum é o de deposição progressiva de cálcio em águas calcáreas (NETTO, 2015).

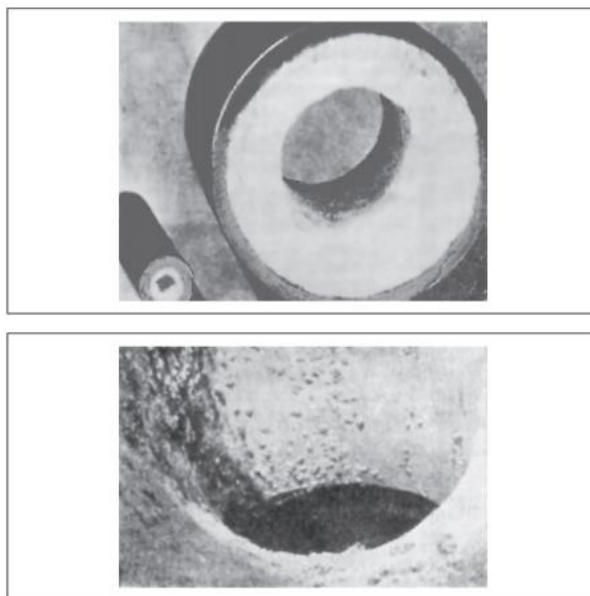


Figura 8: Alterações na superfície interna do tubo.

Os fatores mencionados devem ser levados em consideração quando se projetam instalações hidráulicas. Atualmente, têm sido utilizado revestimentos internos especiais objetivando de eliminar ou mitigar esses fenômenos.

INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO DOS TUBOS

Com o decorrer do tempo e em consequência dos fatores já apontados, a capacidade de transporte de água das tubulações vai diminuindo. De acordo com as observações de Hazen e Williams, a capacidade decresce de acordo com os dados médios apresentados no Tabela 1.

Tabela 1: Capacidade de Vazão das canalizações em porcentagem em relação ao tubo novo (tubos de ferro ou de aço sem revestimento permanente interno)

Tempo de funcionamento	Diâmetros Nominais					
	100 (mm)	150 (mm)	250 (mm)	400 (mm)	500 (mm)	750 (mm)
Tubos novos	100	100	100	100	100	100
Após 10 anos	81	85	85	86	86	87
Após 20 anos	68	74	74	75	76	77
Após 30 anos	58	65	65	67	68	69
Após 40 anos	50	58	58	61	62	63
Após 50 anos	43	54	54	56	57	59

A AÇÃO CORROSIVA DA ÁGUA POTÁVEL

Segundo Vicente (2011), a ação corrosiva da água potável pode acarretar, além de perda de espessura ou perfurações das tubulações, produtos de corrosão capazes de deixá-la imprópria para uso por já não mais estar em conformidade aos padrões de potabilidade. A contaminação de água potável com sais de chumbo ou de cobre a torna imprópria para consumo humano. O chumbo originário da corrosão em juntas de chumbo utilizadas em tubulações de ferro fundido, e o cobre de corrosão em tubos desse metal. A corrosão em tubulações de aço-carbono ou de ferro fundido elevam o teor de ferro na água, deixando-a inapta para diversos

usos. As autoridades sanitárias determinam concentrações máximas de chumbo e cobre permitidas em água para consumo humano. Assim tem-se os valores expressos em mg/L:

Tabela 2: Concentração máxima de chumbo e cobre na água potável – Brasil e EUA

METAL	BRASIL	EUA
Chumbo	0,05 (mg/L)	0,015 (desejável zero)
Cobre	-	1,3

As autoridades sanitárias instituem também as concentrações máximas permitidas de metais, visando que as concentrações não venham a interferir nas qualidades organolépticas, como sabor da água. No Tabela 3:

Tabela 3: Concentração Máxima de Metais permitida em Águas Potáveis

Metal	Concentração máxima (mg/L)	
	Brasil	EUA
Ferro	0,3	0,3
Manganês	0,1	0,05
Cobre	1,0	1,0
Zinco	5,0	5,0

Acima de 1,0-1,5 ppm de cobre a água potável já possui sabor desagradável. Em consequência desses valores é possível constatar que mesmo pequenas quantidades de metais podem prejudicar a utilização da água para fins potáveis. Com isso, é necessário procurar evitar a ação corrosiva da água, sobretudo nos materiais mais utilizados em instalações hidráulicas, como ligas de ferro (aço-carbono e ferro fundido), cobre ou suas ligas como latão e bronze e aço galvanizado (VICENTE, 2011).

CARACTERÍSTICA DA ÁGUA E SUA INFLUÊNCIA NA CORROSÃO ÁGUAS AGRESSIVAS OU CORROSIVAS

A dureza da água considera a presença de sais de metais alcalino terrosos, predominantemente cátions de cálcio e de magnésio, ou cátions de outros metais: bário, ferro, manganês, estrôncio e zinco, sendo que regularmente estão em sua forma complexa. A dureza da água pode ser permanente (não carbonatada) e temporária (carbonatada), quando observado o teor de sulfatos e cloretos de cálcio e de magnésio e o teor de hidrogenocarbonatos e carbonatos de cálcio e magnésio (APDA, 2012).

Segundo a Organização Mundial de Saúde, uma água é considerada dura quando possui uma concentração em carbonato de cálcio superior a 180 mg/L; dura com concentração entre 120 e 180 mg/L, relativamente dura entre 60-120 mg/L e macia quando os teores em carbonato de cálcio são <60 mg/L. A dureza pode ser demonstrada em mg/L de carbonato de cálcio (CaCO₃) (APDA, 2012).

Uma água que possui dureza acima de 180 mg/L de CaCO₃, pode formar de incrustações nas canalizações. Já uma água com dureza inferior a 60 mg/L tende a ser mais adversa e destrutiva, provocando fenômenos de corrosão nos órgãos do sistema de abastecimento de água. A água com valores acima dos 300 mg/L, tende a possuir sabor desagradável e outros inconvenientes no uso doméstico, como o consumo agregado de detergente. A água macia tem tendência a originar formação intensa de espuma nas lavagens. Na prática, uma água dura é uma água que não forma espuma na reação com o detergente (APDA, 2012).

A dureza temporária pode ser diminuída através do aquecimento ou adição de hidróxido de cálcio. No tocante a diminuição de uma dureza permanente é aplicada técnicas variadas, como por a permuta iônica, e para elevar a dureza da água é recorrido processos de mineralização.



Figura 10: Encrustação nas tubulações de Ferro Fundido.

TÉCNICAS DE COMBATE A CORROSÃO

Segundo Sobrinho (2016), um dos tipos de combate a corrosão é a proteção catódica, a qual realiza a injeção de corrente contínua na estrutura, aumentando o seu potencial em relação ao meio. Neste contexto, também há a proteção catódica galvânica e a proteção catódica por corrente impressa.

A corrosão galvânica ocorre quando dois materiais metálicos diferentes estão em contacto elétrico num mesmo eletrólito. Existem vários sistemas de proteção, o sistema de proteção galvânica é um deles. Na proteção galvânica utilizam-se ânodos galvânicos para fornecer proteção contra a corrosão do aço (FARELO, 2016), como pode ser observado na Figura 11.

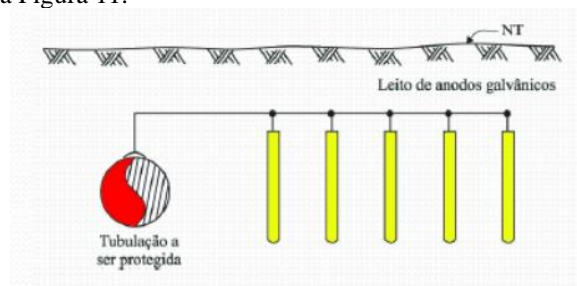


Figura 11: Proteção catódica galvânica.

De acordo com EGD Engenharia (2015), a proteção catódica consiste na criação de uma região anódica artificial, tornando a estrutura a ser protegida (duto) em catodo da pilha eletroquímica então formada. A região anódica artificial é constituída por eletrodos de liga metálica de baixa taxa de desgaste, instalados no solo. A fonte externa de corrente alternada é transformada em corrente contínua por um retificador, que ajusta um valor de tensão adequado que é aplicado entre os ânodos artificiais e o duto. Eletroquimicamente, a corrente iônica da região anódica artificial para o duto, rebaixa o potencial natural do mesmo para valores que o tornarão catodo, onde ocorre a reação de redução, sem perda de massa, e assim ele estará isentado de corrosão. A Figura 12 ilustra esse efeito.

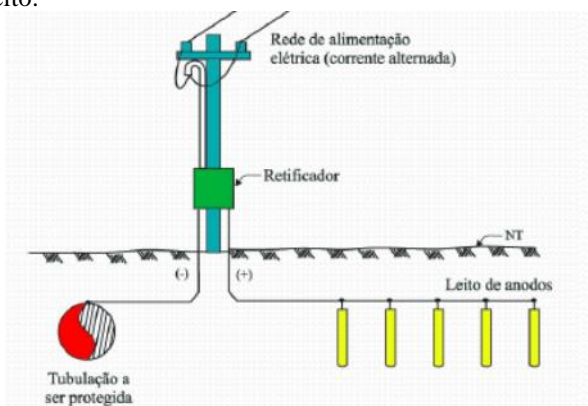


Figura 12: Proteção catódica por corrente impressa.

Ademais, ainda há meios que utilizam tipos de revestimentos internos, que tem a função de viabilizar a manutenção do desempenho hidráulico da canalização ao longo do tempo, além de evitar os riscos de ataque à parede interna metálica pelos líquidos transportados. Estes revestimentos internos buscam também preservar a qualidade da água transportada e a redução do atrito contra a parede que causa a perda de carga (SAINT-GOBAIN CANALIZAÇÃO, 2018).

Segundo Saint-Gobain Canalização (2018), buscando contornar estes problemas, há também técnicas diferenciadas na fabricação destas tubulações, como o revestimento de tubos de acordo com a agressividade dos líquidos transportados, podendo haver revestimentos com argamassa de cimento de alto-forno, o qual é apropriado para a grande maioria das águas brutas e potáveis, assegurando ótimas condições de escoamento hidráulico, conservadas ao longo do tempo e com proteção eficaz da parede metálica do tubo. Além dessas características, a argamassa de cimento de alto-forno também garante a manutenção da potabilidade da água transportada. Há também o revestimento de cimento aluminoso, o qual garante condições satisfatórias de escoamento hidráulico, preservadas ao longo do tempo, e uma proteção eficaz da parede metálica do tubo. O revestimento interno de argamassa de cimento é um revestimento ativo, atuando quimicamente da proteção do ferro pelo fenômeno de passivação. No instante do enchimento, a água encharca pouco a pouco a argamassa de cimento e é enriquecida com elementos alcalinos. Dessa forma, não possibilitando a corrosão ao atingir a parede metálica.



Figura 13: Tubulações revestidas internamente com cimento argamassa.

De acordo com Brasil (1993) as técnicas para prolongar a vida útil dos dutos de ferro fundido como outros materiais alternativos são norteados através da NBR 8682 que diz respeito das orientações para revestimento interno de argamassa de cimento em tubos de ferro fundido dúctil, e a NBR 7663/91 a qual trás normatização da execução do tubo de ferro fundido dúctil centrifugado, para canalizações sob pressão.

A QUALIDADE DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO EM PROL DA SAÚDE PÚBLICA: IMPORTÂNCIA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES DE POTABILIDADE

Os procedimentos de controle e de vigilância norteados pelo Ministério da Saúde, com base em parâmetros físicos, químicos e biológicos preestabelecidos na Portaria de Consolidação nº 05, anexo XX, traz cerca de 90 parâmetros requisitados pela referida portaria. Ademais, deve ser realizado monitoramentos semestrais dos parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA 357/05 nos mananciais onde é captada água para tratamento e da Resolução CONAMA 396/08 para as captações de águas subterrâneas (BRK, 2020).

Ligado a este contexto, sabe-se presença de metais decorrente do desgaste dos sistemas de abastecimento é uma realidade, e assim como os já dispostos na natureza (na água bruta antes do tratamento e na deposição pelas incrustações e corrosão das adutoras) se configuram em uma preocupação aditiva.

Muito embora, alguns metais presentes na natureza e no solo sejam vitais para a saúde humana, quando em grandes concentrações, a presença desses metais gera graves problemas de saúde, principalmente a longo prazo. O ferro, em particular, quando em grandes quantidades no organismo, possui alta toxicidade,

provocando diarreia, vômito e lesões no trato digestivo. A longo prazo ou por causas hereditárias, a hemocromatose, doença causada pelo excesso de ferro é fatal ao ser humano. Outros riscos à saúde como cirrose, câncer de fígado, diabetes, problemas cardíacos, manchas na pele, artrite, infertilidade, impotência, hipotireoidismo e fadiga crônica também são causados pela absorção do ferro no organismo pela ingestão (FUSATI, 2020).



Figura 14: Água com elevada concentração de particulados de ferro.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

Tendo por base os dados levantados, é possível afirmar que a preocupação em mitigar os danos causados pela corrosão em dutos de ferro fundido é autêntica e vem ganhando cada vez mais atenção. Uma vez que os prejuízos causados permeiam o campo social, econômico e ambiental, a remediação dos mesmos pode ser prolongada e onerosa, ou até mesmo irreversível, em alguns casos, ao se tratar do bem-estar e integridade da saúde de vidas humanas.

As normas e resoluções que norteiam a instalação e aplicação do revestimento nas tubulações são de grande relevância, as quais permitem que haja um maior reforço e aumento da vida útil das mesmas, além de limitar os prejuízos causados a população, por meio dos efeitos circunstanciais da corrosão sobre a estética e qualidade desse bem tão primoroso, que é a água.

A compilação de dados relacionados ao percentual da quantidade e integridade dos dutos de ferro fundido em adutoras utilizados pelo país, requer uma apuração refinada, a qual considera o tempo de cada uma, desde a sua implementação, observando as repartições que as implementaram, ou seja, se estão contempladas na esfera da administração pública ou privada. O banco de dados levantado pela união e pelos estados, assim como a disseminação de informações relacionadas as patologias causadas pela presença de metais na água devem ser feitas de forma continuada e qualificada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste contexto, é válido ressaltar que até mesmo em meio aos processos de concessão deste bem há diversos entraves a serem superados. Um dos maiores desafios é a garantia da excelência na prestação de serviços de abastecimento, que objetiva fornecer a água com boa qualidade, respeitando os parâmetros de qualidade de resoluções e portarias.

Escolhido e validado em virtude das suas propriedades e aplicabilidades, a utilização do ferro fundido se consolidou nas mais variadas atividades e setores ao longo dos anos/através das épocas. Naturalmente, haveria um momento em que a transição desse material por componentes atóxicos e economicamente mais rentáveis se tornaria imprescindível.

Materiais sustentáveis com maior ciclo de vida, manutenções e operacionalidade descomplicadas, com vistas em uma melhor gestão e prestação dos serviços de saneamento, objetivando uma garantia da qualidade de vida já são uma realidade. É necessário que haja uma maior atenção e despertar ecológico e à sustentabilidade para esse eixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APDA - Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas. In: Dureza Total. 4. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://www.apda.pt/site/upload/FT-QI-10-%20Dureza%20total.pdf>. Acesso em: 17 maio 2021.
2. A NOTÍCIA Online. DEMSUR executa parte de desvio de adutora; terceira e última etapa já está programada, [s. l.], 8 dez. 2015. Disponível em: <https://www.anoticiaonline.com.br/site/demsur-executa-parte-de-desvio-de-adutora-terceira-e-ultima-etapa-ja-esta-programada/>. Acesso em: 22 maio 2021.
3. BRASIL. Ministério da Saúde do Brasil, Portaria nº 36, de 19/01/1990.
4. BRK Ambiental. POTABILIDADE da Água, 22 maio 2020. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/potabilidade-da-agua/>. Acesso em: 20 maio 2021.
5. EUA. *National Primary Drinking Water Regulations, United States Environmental Protection Agency – USEPA*, 1986.
6. FUSATI. Metais em Excesso no Organismo: Perigo Para Saúde. In: *Metais em Excesso no Organismo: Perigo Para Saúde*, 4 ago. 2020. Disponível em: <https://www.fusati.com.br/metais-em-excesso-no-organismo-o-perigo-para-saude/>. Acesso em: 21 maio 2021.
7. GENTIL, Vicente. *Corrosão*. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
8. HOLDEFER, E S. GARCIA, G., SANTOS, G., G., R. OTTONELLI, DARONCO, G. C. Sistema de Abastecimento de Água Estudo de Caso: Redentora – RS1.
9. MACIEL, F. C, MEDEIROS M., S. R. B.; SILVA, D. R. Aspectos gerais sobre corrosão e inibidores vegetais. *Rev. Virtual Quim.*, 2013 [s. l.], 31 ago. 2013.
10. MARIA Farelo. [S. l.], 21 maio 2021. Disponível em: <https://prezi.com/xofc9o1ypdar/protecao-galvanica/>. Acesso em: 13 maio 2021.
11. NETTO, J.M.D.A.; FERNÁNDEZ, M.F.Y. *Manual de hidráulica*. Editora Blucher, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208891/>. Acesso em: 20 May 2021
12. PREFEITURA DE SÃO BENTO DO SUL. In: SECRETARIA DE OBRAS TROCA TUBOS NA RUA AUGUSTO WUNDERWALD. Prefeitura de São Bento do Sul, 14 abr. 2014. Disponível em: <https://www.saobentodosul.sc.gov.br/noticia/11811/secretaria-de-obras-troca-tubos-na-rua-augusto-wunderwald>. Acesso em: 21 maio 2021.
13. RUSSEL, John B. *Química Geral 2v. 2ª Ed.* São Paulo: Makron Books.
14. SANTOS, F. S. Importância da Água. [S. l.], 1 abr. 2004. Disponível em: <https://www.fernandosantiago.com.br/aguaimp.htm>. Acesso em: 7 maio 2021.
15. SAMPAIO, Túlio. COMPARATIVO DA TUBULAÇÃO DE PVC E FERRO FUNDIDO PARA ADUTORAS. Realidade aumentada mais um ganho para projetos em BIM, JUAZEIRO DO NORTE - CE, 2016. Disponível em: http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=comparativo_da_tubulacao_de_pvc_e_ferro_fundido_para_adutora.pdf. Acesso em: 7 jun. 2021.
16. VICENTE, G. *Corrosão*, 6ª edição. Grupo GEN, 2011. 978-85-216-1944-4. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1944-4/>. Acesso em: 21 May 2021.
17. ZALAMENA, C.; DA SILVA, OLIVEIRA, J. Análise das vantagens e desvantagens dos materiais utilizados em redes e adutoras de tratamento de esgoto. 2018. XIX JORNADA DE EXTENSÃO TRABALHO. Salão do conhecimento UNIJUÍ 2018.
18. SAINT-GOBAIN. Revestimentos internos de tubos em ferro dúctil. [S. l.], 14 ago. 2018. Disponível em: <https://www.sgpam.com.br/artigos/revestimentos-internos-de-tubos-em-ferro-ductil>. Acesso em: 1 jun. 2021.
19. ALEN SOBRINHO, P.; CONTRERA, R.C. Adutoras. Apresentação da disciplina Saneamento II. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Acesso em: 23/04/2016.
20. EGD ENGENHARIA DE DUTOS. Soluções para Integridade de Dutos e Proteção Catódica. [S. l.], 1995. Disponível em: <https://www.egdengenharia.com.br/>. Acesso em: 1 jun. 2021.