

IMPACTOS DA CORROSÃO RÁPIDA E SEVERA SOBRE AS ESTAÇÕES COMPACTAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO CONSTRUÍDAS EM AÇO CARBONO NO BRASIL

Ricardo Franci Gonçalves⁽¹⁾

Engenheiro civil e sanitarista (UERJ), Pós-graduado em Enga. Saúde pública (ENSP), Mestre em Enga Ambiental (ENPC – França), Doutor Enga do Tratamento de Águas (INSA Toulouse – França), Pós-doutorado em Enga de Conservação de água (TU Berlin - Alemanha), Prof, Titular do Depto Enga Ambiental da Univ. Federal do Espírito Santo. Sócio proprietário da empresa Fluxo Ambiental.

Endereço⁽¹⁾: Rod. do Sol, 2500 - Praia dos Recifes, Vila Velha - ES, CEP. 29.124-148

RESUMO

Desde o final do século XX, estações de tratamento de esgoto sanitário construídas com chapas, perfis e tubulações de aço carbono vem sendo implantadas em todo o país. As tecnologias de tratamento que compõem tais ETEs metálicas no Brasil frequentemente contemplam a associação em série de reatores UASB com biofiltros aerados submersos (BF) ou filtros aerados submersos. Sua construção é rápida, seus canteiros de obras são limpos e o CAPEX é relativamente competitivo. Ademais, a tecnologia de tratamento tem seu desempenho comprovado e é capaz de atingir remoção de DBO superior a 90% quando bem operada. No entanto, o aço carbono é um material muito suscetível à corrosão intermediada por microrganismos, em especial pelas bactérias redutoras de sulfato (BRS). A atmosfera corrosiva nas proximidades principalmente dos UASBs tem provocado a degradação estrutural da maioria destas ETEs, ameaçando a segurança de seus operadores e, em última instância, da própria população. Os custos de uma reforma são muito variáveis, mas com frequência superam 20% do valor de implantação da estação. A corrosão se propaga rapidamente e, se não houver manutenção preventiva rigorosa, a estação pode entrar em colapso em um período de 5 a 10 anos. As soluções mitigadoras do problema até o momento empregadas não foram capazes de prorrogar a vida útil deste tipo de ETE. Considerando que o horizonte de projeto de uma ETE supera 20 anos, isso significa que uma estação construída em aço carbono deverá ser reformada pelo menos duas ou três vezes ao longo do seu período de funcionamento. As informações aqui aportadas comprovam que esse tipo de material não deve ser considerado como uma opção técnica e economicamente viável para a construção de ETEs compactas no país.

PALAVRAS-CHAVE: Estação de tratamento, ETE compacta, Aço carbono, corrosão, custos, reforma.

INTRODUÇÃO

O aço é bastante utilizado na indústria e na construção devido às suas propriedades e vantagens únicas, como maleabilidade, resistência e durabilidade. Este material é resultado da mistura de liga de ferro com carbono em diferentes proporções, o que lhe confere características muito diferentes no tocante às propriedades já citadas. Os tipos de aço em função do teor de carbono são:

- Aço de baixo carbono: mais barato e muito utilizado em chapas, perfis e suportes na indústria e serralheria, nele a presença de carbono chega, no máximo, a 0,30%.
- Aço de médio carbono: bastante resistente, é muito utilizado em projetos estruturais e mecânicos. Possuem entre 0,35% e 0,60% de carbono e 0,31% e 1,60% de manganês.
- Aço de alto carbono: resistente à soldagem devido a sua dureza, é empregado na produção de engrenagens e peças de máquinas. Possui teor de carbono acima de 0,61% e de manganês entre 0,40% e 1%.
- Aço inox: material composto por aço, cromo e níquel, tem como principais características a durabilidade e a beleza. Sua baixa quantidade de carbono o torna pouco resistente a impactos, mas, por outro lado, lhe confere bom desempenho contra a corrosão. Pode ser classificado como série 400 (ferríticos e martensíticos) e série 300 (austeníticos).

Como consequência das vantagens já descritas, o emprego do aço no setor de saneamento é muito antigo, envolvendo desde a construção de redes de abastecimento de água, a construção de ETAs, de estruturas metálicas e diversos equipamentos eletromecânicos. Não obstante, o emprego deste material em sistemas de esgotamento sanitário sempre foi um desafio, em função da sua fragilidade frente aos processos corrosivos que causam a deterioração rápida de equipamentos e instalações.

As escadas - marinheiro em aço carbono foram proscritas das redes de esgoto na França, porque os acidentes frequentes nos degraus corroídos causavam ferimentos sérios (na maioria das vezes na coxa) dos trabalhadores do setor. Lamentavelmente, este doloroso aprendizado na Europa não permeou até o Brasil, onde o emprego do aço carbono na construção de ETEs experimentou uma aceitação crescente a partir do ano 2000, o que resultou em uma infraestrutura de saneamento com vida útil muito curta e dispendiosa em termos de manutenção (Figura 1).



Figura 1 – Detalhe de uma escada marinheiro em aço carbono corroída no interior de uma estação elevatória de esgoto sanitário.

O objetivo desse trabalho é apresentar informações detalhadas sobre a quantidade de ETEs compactas em aço carbono construídas no Espírito Santo e outros Estados da Federação, o impacto da corrosão sobre a funcionalidade destes sistemas, as medidas mitigadoras da corrosão até hoje empreendidas, o custo da recuperação (reforma) destas ETEs e as alternativas construtivas a este tipo de material. Um levantamento criterioso do estado de conservação de várias ETEs metálicas e de editais publicados nos últimos 5 anos para reforma de ETEs corroídas está na base da metodologia empregada.

MATERIAIS E MÉTODOS

A seguinte metodologia foi adotada para a realização desse trabalho:

- 1 – Levantamento de informações sobre as tecnologias de tratamento que conformam as ETEs construídas com aço carbono no Espírito Santo e em outros estados brasileiros.
- 2 – Pesquisa bibliográfica na Internet sobre projetos de engenharia referentes às ETEs construídas com aço carbono.
- 3 – Solicitação direta a alguns SAAEs do Espírito Santo a respeito de informações técnicas relativas às ETEs construídas com aço carbono.
- 4 – Visita *in loco* a algumas ETEs construídas com aço carbono, para registro fotográfico da degradação de suas estruturas provocada pela corrosão.
- 5 – Levantamento de informação em diários oficiais publicados na Internet sobre editais públicos tratando da reforma de ETEs construídas com aço carbono.
- 6 – Pesquisa no mercado sobre preço de venda de ETEs do tipo UASB + BF ou UASB + FBAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em que pese a experiência adquirida no setor com o aço carbono ao longo de mais de um século, este material ressurgiu no Espírito Santo e em outros estados brasileiros como material de construção de estações compactas

de tratamento de esgoto. A combinação de uma tecnologia de tratamento de esgoto eficiente e barata com um material de construção que agiliza a obra e permite bom acabamento está na origem desta nova leva de estações de tratamento metálicas. Isso se intensificou a partir do ano 2000 e atinge hoje um patamar preocupante, porque, após um período de 20 anos de experiência, é possível se constatar as consequências negativas desta opção tecnológica. As ETEs em aço podem ser do tipo UASB ou do tipo combinado, com pós-tratamento anaeróbio (filtro anaeróbio) ou aeróbio (biofiltro aerado submerso, BF, ou filtro biológico aerado submerso, FBAS). As versões mais frequentes são UASB + BF, as mais antigas (figura 2), e UASB + FBAS, as mais atuais.

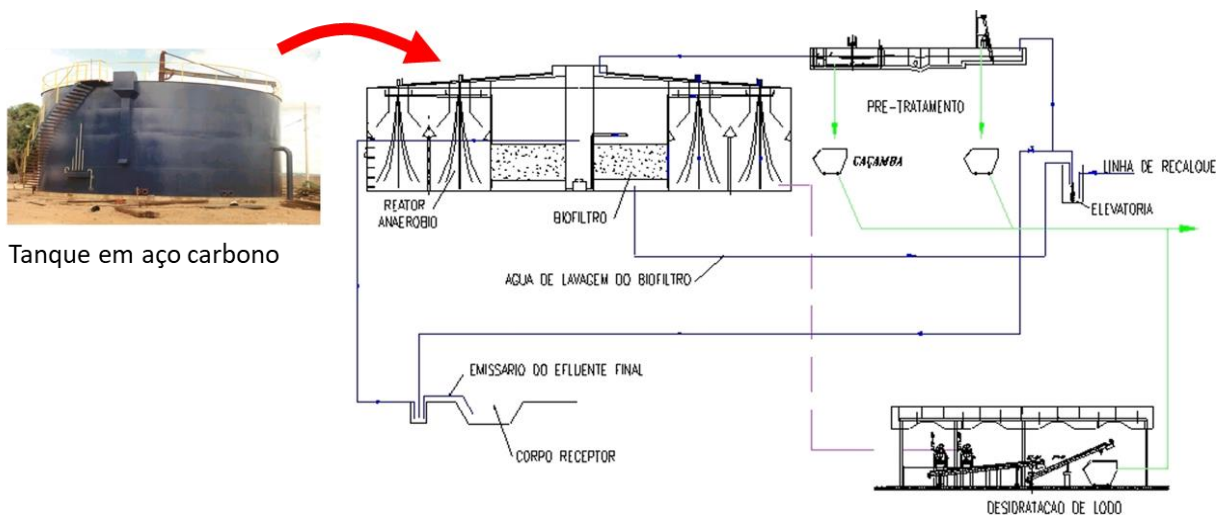


Figura 2 – Configuração de uma ETE do tipo UASB + BF contruída em aço carbono.

Estas ETEs que combinam reatores anaeróbios e aeróbios em série receberam a denominação informal de ETEs compactas e experimentam ampla aceitação em regiões densamente urbanizadas no país. Suas principais virtudes são: compactidade, baixo custo de implantação, baixo consumo energético, simplicidade operacional, baixo impacto em ambientes urbanos (odor, ruídos e impacto visual), menor produção de lodo e facilidade de inserção em áreas restritas ou sensíveis a impactos em ambiente urbano (GONÇALVES et al., 1999). Em termos de desempenho no tratamento, são sistemas muito eficientes na remoção de matéria orgânica do esgoto, superando 90% de remoção de SS e DBO e 95% da DQO do esgoto bruto (Figura 3).

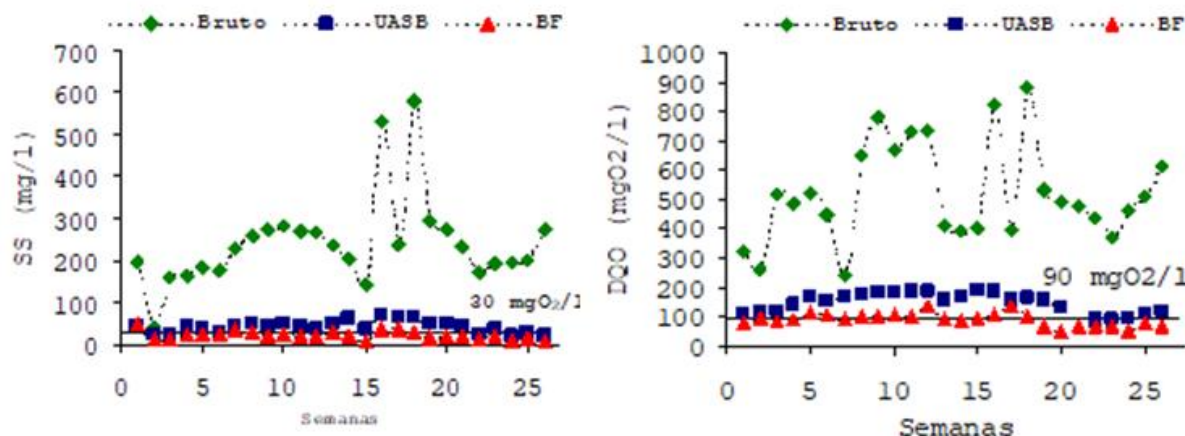


Figura 3 – Série histórica de remoção de SS e DQO em uma ETE do tipo UASB + BF

Ademais, em suas versões mais modernas, estas ETEs são capazes de neutralizar o consumo energético da ETE mediante o aproveitamento do biogás produzido nos UASBs. A primeira ETE deste tipo foi construída no Município de Linhares (ES), em 1998, com capacidade de tratamento de 5,0 L/s. Nos anos seguintes, várias ETEs do mesmo tipo foram instaladas no Espírito Santo e, posteriormente, em vários estados brasileiros. Trata-se de uma tecnologia que pode ser adaptada a qualquer porte de empreendimento, atendendo desde

pequenos condomínios ($Q_{med} < 1,0$ L/s) até grandes ETEs ($Q_{med} > 500$ L/s). Seus principais beneficiários são empresas de saneamento, SAAEs, condomínios privados e indústrias (Tabela 1).

Tabela 1 – Relação não exaustiva de ETEs construídas com aço carbono no país

ETE	Vazão [L/s]	Tipo	Cidade	UF
Água Doce do Norte	10,2	UASB+BF	Água doce do Norte	ES
Águas Lindas de Goiás	20,0	UASB+BF+DS+UV	Águas Lindas de Goiás	GO
Água Vermelha	8,0	UASB+BF	São Carlos	SP
Aimorés	30,0	UASB+BF	Aimorés	MG
Alegre	50,0	UASB+BF+DS	Alegre	ES
Alfredo Chaves	10,5	UASB+BF	Alfredo Chaves	ES
Alta Vista	2,0	UASB+BF+DS+UV	Serra	ES
Alto Rio Novo	2,0	UASB	Alto Rio Novo	ES
Amanhece	11,0	UASB+BF+DS	Araguari	MG
Anchieta	2,5	UASB+BF+DS+SC	Aanchieta	ES
Apiacá	6,0	UASB+BF	Apiacá	ES
Aracruz	2,0	UASB	Domingo Martins	ES
Araguari	11,0	UASB+BF+DS	Araguari	MG
Atilio Vivacqua	4,6	UASB	Atilio Vivacqua	ES
Oriente	1,0	UASB+BF	Atilio Vivacqua	ES
Atilio Vivacqua	3,5	UASB+BF	Atilio Vivacqua	ES
Aurília Salies	4,0	UASB+BF+DS	Várzea Grande	MT
Aviso	140,0	UASB+BF+DS	Linhares	ES
Bacaxá	35,0	FBAS+DS	Saquarema	RJ
Bairro Conceição	2,0	UASB+BF	Linhares	ES
Baixo Guandú	30,0	UASB+BF	Baixo Guandú	ES
Barra do Choça	2,0	UASB+BF+DS	Barra do Choça	BA
Barrinha	5,0	UASB	Serra	ES
Bauru	60,0	UASB+BF+DS	Baurú	SP
Bebedouro	8,4	UASB+BF	Linhares	ES
Bom Pastor	10,2	UASB+BF	Viana	ES
Buritis	4,0	UASB+BF+DS	Serra	ES
Cáceres	1,0	UASB+BF+DS	Cáceres	MT
Cachoeiro	4,0	UASB+BF+DS	Cachoeiro do	ES
Cambuí	2,9	UASB+BF	Cambuí	MG
Campos Dourados	4,0	UASB+BF+DS	Goiânia	GO
Campos Elísios	2,0	UASB+BF	Duque de Caxias	RJ
Canivete	10,5	UASB+BF	Linhares	ES
Capelinha	1,0	UASB+BF+FT+CL	Resende	RJ
Cariacica Sede	20,5	UASB+BF	Cariacica	ES
Cdp Feminino	3,0	UASB+BF+DS+SC	Vila Velha	ES
Celestino V. Grande	5,0	UASB+BF+DS	Cuiabá	MT
Cidade Ocidental	10,0	UASB+BF+DS	Cidade Ocidental	GO
Cidade Pomar	10,0	UASB	Serra	ES

Corrosão das ETEs em aço carbono

É do conhecimento geral que o ambiente das estações de tratamento de esgoto sanitário é bastante agressivo a materiais metálicos, em especial ao aço carbono (Stanaszek-Tomal e Fiertak, 2016). Entretanto, o esgoto sanitário em si é uma solução relativamente fraca de produtos químicos que não são agressivos ao aço. Os contaminantes presentes no esgoto são bem conhecidos (sais, óleos, graxas, sabões, detergentes, matéria orgânica e nutrientes) e normalmente estão presentes em concentrações inferiores a 1000 mg/L. Sabões e detergentes aportam concentrações importantes de íons sulfato e fosfato, mas também contribuem para que o pH do esgoto sanitário fique entre 6 e 7. Por outro lado, os processos corrosivos podem ser classificados em eletroquímicos e químicos, sendo diretamente ligados à presença de água e altas temperaturas nos ambientes. Além da corrosão, existem outros processos de deterioração de materiais nos sistemas de saneamento, como fadiga, fratura, erosão, desgaste mecânico, fragilização por hidrogênio, carbonetização ou decarbonetização.

No caso das ETEs das figuras 4 e 5, a fragilidade do material aço carbono frente ao esgoto decorre principalmente da presença neste dos íons sulfatos já relatados (JESUS, 2011; LIMA et al., 2016). A produção de sulfetos durante o tratamento de esgoto é uma consequência da redução desassimilativa do sulfato (respiração anaeróbia), através da qual as bactérias redutoras de sulfatos (BRS) usam o sulfato como aceptor

final de elétrons, liberando gás carbônico e compostos gasosos de enxofre (sulfetos, gás sulfídrico, e bissulfetos metálicos) altamente corrosivos para o ferro e suas ligas (MAINIER et al., 2007).

As BRS mais prolíficas são do gênero *Thiobacillus*, que crescem melhor sob temperaturas entre 25 e 35°C e são capazes de oxidar sulfeto, S elementar, tiosulfato e politionita. Esse gênero se divide em um primeiro grupo, cujas bactérias crescem apenas sob pH neutros e convertem enxofre elementar em ácido sulfúrico. O segundo grupo cresce em valores de pH mais ácidos e pode utilizar Fe^{2+} como doador de elétrons. Pertencente a esse último grupo, a *Thiobacillus thiooxidans* é uma bactéria estritamente aeróbica que se adapta melhor a pH entre 2 e 5. Já a *Thiobacillus intermedius* é mais ativa em uma faixa de pH de 3 a 7, e oxida os íons tiosulfato ($S_2O_3^{2-}$) em presença de matéria orgânica. A *Thiobacillus ferrooxidans* também é estritamente aeróbica, pode oxidar Fe^{2+} a Fe^{3+} e tem uma faixa de crescimento ótimo em uma faixa de pH de 1,5 a 5. O gás sulfídrico ou sulfeto de hidrogênio (H_2S) é o principal produto desta reação de oxirredução promovida pelas BRS, um gás com odor de ovo podre ou carne putrefata, corrosivo, venenoso e com ponto de ebulição ocorre a 212,86 K. Seu estado natural é gasoso, porém, uma vez dissolvido água, ioniza-se e se transforma em ácido sulfídrico, um ácido inorgânico fraco. Deste composto, parte do hidrogênio penetra no aço e se acumula em falhas que resultam na formação de trincas e, eventualmente, até no colapso estrutural (OLIVEIRA et al., 2018). Com o tempo, estas falhas localizadas se transformam em corrosão generalizada, caracterizada pela formação de uma carepa de mono e polissulfetos de ferro nas superfícies metálicas (Figuras 4 e 5).

Figura 4 – Efeito da corrosão na parte externa de ETEs construídas com aço carbono



No caso das ETEs em aço construídas nos últimos 20 anos, o grande problema reside no material com que são confeccionadas (Figuras 4 e 6). As especificações de alguns dos materiais utilizados na fabricação destas ETEs estação:

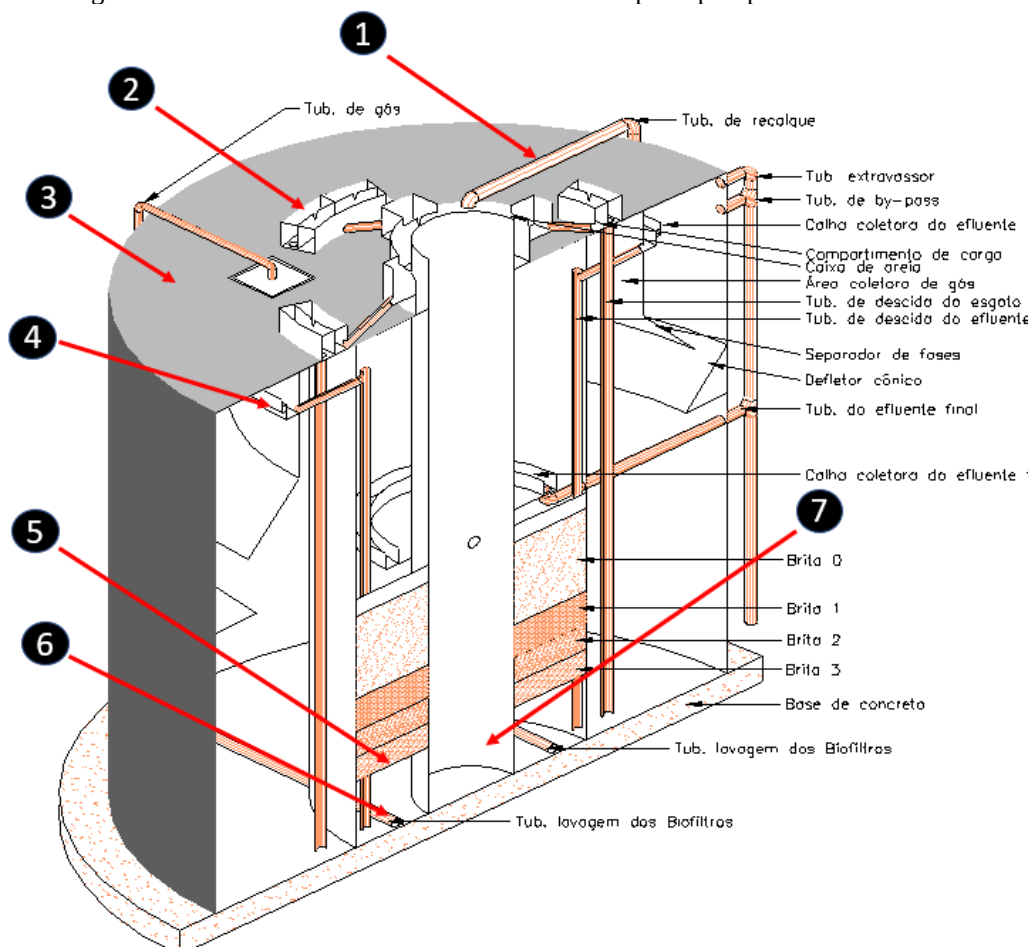
- | | |
|---|---------------|
| ▪ Chapas finas..... | SAE 1020 |
| ▪ Chapas grossas | SAE 1020 |
| ▪ Laminados não planos | SAE 1020 |
| ▪ Barras redondas | SAE 1010/1020 |
| ▪ Tubos com costura | DIN 2440 |
| ▪ Flanges de chapa | SAE 1020 |
| ▪ Parafusos, porcas e arruelas | ASTM A-307 |
| ▪ Registros e válvulas de ferro fundido | Classe 125 Ib |

O aço SAE 1020 é de longe o mais utilizado, principalmente na confecção dos costados e tampas dos grandes tanques, além das peças especiais que compõem os UASBs e os BFs ou FBAS. Trata-se de um material baixa resistência mecânica e temperabilidade quando comparado aos demais aços, sendo muito utilizado na indústria automobilística e indústria mecânica. É classificado como um aço macio, resistente à ruptura de 45 a 55kg/mm², com teor de carbono entre 0,15% e 0,30%, que não adquire têmpera, porém é maleável e fácil de soldar. Por essas características, além do preço relativo, é que ele é o mais empregado na confecção das ETEs compactas já citadas. Por possuir baixo teor de carbono, é um aço mais resistente à corrosão química que os demais, embora seja altamente suscetível a esse processo degradativo. Conclusão semelhante foi obtida por

Faldini, Alves e Miranda (2012), para quem o ambiente poluído de uma estação de tratamentos de efluentes favorece a corrosão de corpos de prova de aço carbono SAE 1010.

Os pontos mais atacados pela corrosão neste tipo de ETE normalmente são aqueles que estão em contato direto com o ácido sulfúrico resultante da oxidação dos sulfetos (Figuras 5 e 6). Isso ocorre nas regiões situadas logo acima da linha d'água no topo dos UASBs, onde o biogás rico em sulfetos entra em contato com o ar atmosférico, incluindo o teto, as caixas distribuidoras, as tubulações em aço e o guarda-corpo. Calhas coletoras dos efluentes do UASB e do BF (ou FBAS) também são bastante afetadas, além de todos os componentes em aço do tratamento preliminar. Os quadros elétricos também são bastante danificados com o tempo, caso não haja uma proteção adequada aos mesmos. A base de sustentação do meio granular do BF ou do FBAS também costuma colapsar com o tempo, resultando em um problema gravíssimo para o sistema como um todo. Isso ocorre porque essa estrutura se encontra logo acima da injeção de ar no BF ou FBAS, onde ocorre a reação de oxidação de sulfetos com maior intensidade.

Figura 5 – Detalhes de uma ETE UASB + BF e seus principais pontos de corrosão



LEGENDA: 1) Tubulações em aço no teto dos tanques, 2) Caixas de distribuição, 3) Teto dos tanques (partes externas e internas), 4) Calhas de coleta dos efluentes, 5) Base de sustentação do meio granular do BF ou do FBAS, 6) Tubulações em aço no fundo do BF ou do FBAS e 7) Tanque central na configuração UASB + BF.

O combate à corrosão nesse tipo de ETE tem se mostrado ineficaz ao longo dos anos, conforme atesta o grande número de ETEs em aço abandonadas ou em estado precário de funcionamento. Os tratamentos anticorrosivos oferecidos pelas fábricas destes equipamentos são:

- **Superfícies Internas:** preparação das superfícies com jateamento abrasivo padrão SA 2 ½ (Norma Sueca SIS 055900), seguido de aplicação de uma demão de epóxi alcatrão de Hulha com espessura de película seca de 120 microns/demão e revestimento em PRFV.

- **Superfícies Externas:** Preparação das superfícies com jateamento abrasivo padrão SA 2 ½, seguido de pintura de fundo com aplicação de uma demão de primer epóxi com espessura de película seca de 30 microns/demão. Pintura de acabamento: Uma camada de PRFV e aplicação de duas demãos de acabamento ESM sintético com espessura de película seca de 35 microns/demão.
- **Escadas, passarelas, corrimãos:** Preparação das superfícies com jateamento abrasivo padrão SA 2 ½, seguido de pintura de fundo com aplicação de duas demãos de primer epóxi com espessura de película seca de 50 microns/demão e pintura de acabamento, com aplicação de duas demãos de acabamento epóxi, com espessura de película seca de 35 microns/demão.

Figura 6 – O avanço da corrosão em ETEs compactas construídas com aço carbono



Em que pese todo esse esforço para proteger o aço carbono, com tratamento de superfície em epóxi ou fibra de vidro, a longo termo está mais do que comprovado que esse material não resiste aos seus efeitos. No caso do revestimento em PRFV, um material reconhecidamente resistente à corrosão química, o maior problema está nos métodos manuais de aplicação da camada de proteção. Pequenas imperfeições nesta favorecem a penetração de sulfetos entre a chapa de aço e a fibra de vidro, dando início à corrosão e resultando no descolamento por vezes completa da camada protetiva do aço (Figura 7).

De um modo geral, os efeitos da corrosão avançada começam a ser percebidos após o quinto ano da entrada em funcionamento das ETEs. Se a rotina de manutenção for deficiente, o que é bastante comum no setor, isso significa que aquelas ETEs que foram reformadas recentemente deverão sê-lo novamente em um período de 5 anos, que justamente vem a ser o prazo de garantia das empresas que lidam com esse tipo de material. Os custos de uma reforma variam bastantes, de acordo com os valores de referência licitados (Tabela 2).

Figura 7 – Colapso da camada de proteção em PRFV em uma caixa de areia em aço



No Espírito Santo, tais valores atingiram valores superiores a 50% do valor estimado do investimento na construção da ETE e, em um caso específico, atingiu 203,4% do valor do investimento para da implantação da estação. Cumpre ressaltar que o período de vida útil destas ETEs é de 20 anos, conforme consta amiúde nos memoriais descritivos e de dimensionamento. Posto isso, e dada a frequência de manutenção equivalente a uma reforma a cada 5 anos, tem-se que uma ETE em aço carbono deverá ser reformada pelo menos três vezes ao longo do seu período de funcionamento.

Trata-se, portanto, de uma solução que, à primeira vista, é muito interessante. ETEs compactas em aço possuem bom acabamento, são eficientes e podem ser implantadas rapidamente, em canteiros de obra bastante limpos e organizados. No entanto, pode-se afirmar categoricamente que, diante da elevada e cara exigência de manutenção para combater a corrosão, não se constituem em um investimento correto para tratar esgoto sanitário. As deficiências operacionais e de manutenção que subsistem no setor de saneamento no país resultam em prazo de validade bastante curto destas ETEs em face do período de vida útil de 20 anos que normalmente se atribui a este tipo de empreendimento.

Alguns municípios com autarquia de saneamento própria e algumas empresas de saneamento de outros estados brasileiros já se deram conta do problema e não autorizam mais esse tipo de material em seus empreendimentos. Não obstante, algumas empresas públicas concessionárias do serviço de esgotamento sanitário, empresas de projeto, Fundação Nacional de Saúde, indústrias, dentre outras instituições, ainda consideram equivocadamente esse material nas soluções de tratamento de esgoto.

Tabela 2 - Relação não exaustiva dos editais de reforma de ETEs metálicas publicados nos últimos principalmente no Estado do Espírito Santo

ETE	Vazão (L/s)	Preço estimado (R\$)*	Tipo de documento	Data publicação	Instituição	Valor contrato (R\$)	Valor atualizado (R\$)#	% do investimento
Fundão	20,4	3.060.000,00	Contrato 171/2007	16/07/2007	Pref. Mun. Fundão (ES)	126.783,60	417.912,95	13,7
Nestor Gomes	14,4	2.160.000,00	Processo 1180/2010	13/12/2010	SAAE São Mateus (ES)	108.800,00	283.020,43	13,1
Apiacá	6,0	900.000,00	Tomada de preços 03/11	14/02/2012	PREF. Mun. Apiacá (ES)	54.117,72	132.697,97	14,7
Boa Vista I	7,0	1.050.000,00	Tomada de preços 002/2012	29/03/2012	SAAE Jaguaré (ES)	331.500,00	813.334,07	77,5
Itaguaçu	8,0	1.200.000,00	Contrato 114/2012	12/04/2012	SAAE Itaguaçu (ES)	998.932,24	2.440.383,06	203,4
Apiacá	6,0	900.000,00	Termo aditivo 01-05-A/11	25/05/2012	PREF. Mun. Apiacá (ES)	26.910,00	65.186,82	7,2
Boa Vista I	7,0	1.050.000,00	Contrato 087/2014	23/09/2014	SAAE Jaguaré (ES)	214.032,63	455.399,38	43,4
Bebedouro	8,4	1.260.000,00	Contrato 340/2014	09/12/2014	SAAE Linhares (ES)	429.297,39	900.229,59	71,4
Irajá	3,3	495.000,00	Tomada de preços 009/2015	17/08/2015	SAAE Aracruz (ES)	167.070,01	331.435,91	67,0
Farias e Aviso	140,0	21.000.000,00	Aditivo de contrato 48/2014	20/10/2015	SAAE Linhares (ES)	110.651,46	216.839,08	1,0
Aimorés	30,0	4.500.000,00	Carta convite 3/2016	15/06/2016	SAAE Aimorés (MG)	148.832,21	269.398,41	6,0
Santa Isabel	2,0	300.000,00	Carta Cconvite 03/2017	11/07/2017	CESAN (ES)	91.117,75	163.470,73	54,5
Guaraná	10,2	1.530.000,00	Tomada de preços 004/2020	18/11/2020	SAAE Aracruz (ES)	602.427,53	781.483,43	51,1

Notas:

* O indicador de preço para ETEs compactas com instalação completa na Região Sudeste do país atualmente varia de R\$140.000,00 a R\$ 160.000,00 para unidade de vazão em (L/s). O preço de cada ETE foi estimado multiplicando-se a vazão por R\$ 150.000,00/(L/s).

Os valores dos contratos foram atualizados para a data de 22/03/2023 com base no IGP-M, através do website <https://calculoexato.com.br/>.

CONCLUSÕES

Recursos financeiros importantes para a ampliação da cobertura do esgotamento sanitário no Brasil estão sendo corroídos permanentemente nas estações de tratamento de esgoto construídas em aço carbono. Os custos de uma reforma geralmente remontam a 40% do valor de implantação da estação, que geralmente deve ter uma vida útil de 20 anos.

As soluções mitigadoras do problema até o momento empregadas não foram capazes de prorrogar a vida útil deste tipo de ETE. Considerando que vida útil recomendável para ETEs supera 20 anos, isso significa que uma estação deverá ser reformada pelo menos três vezes ao longo do seu período de funcionamento.

Conclui-se, portanto, que esse tipo de material não deve ser considerado como uma opção técnica e economicamente viável para a construção de ETEs compactas no país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FALDINI, S. B.; ALVES, W. J. S.; MIRANDA, L. F. Corrosão em guarda-corpos de aço carbono não revestidos, em uma estação de tratamento de esgotos. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, v. 11, n. 1, 2012.
- GONÇALVES, R.F., ARAÚJO, V.L. BOF, V.S. (1999) - Combining upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors and submerged aerated biofilters for secondary domestic wastewater treatment. *WATER SCIENCE & TECHNOLOGY*, V. 40, N 8, p. 71 – 79
- JESUS, EB. (2011). Bactéria redutora de sulfato: bioprocessos e medidas de controle. *CADERNOS DE PROSPECÇÃO* - ISSN 1983-1358 (print) 2317-0026 (online), 2011. vol.4, n.4, p.1-11
- LIMA, J.F., SOUSA, J.T., LIMA, D.A., HENRIQUE, I.N., SANTOS, A.M. (2016). Controle e remoção de sulfetos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário. *REVISTA DAE*, maio – agosto 2016, DOI 10.4322/dae.2015.013. p. 65-76
- MAÇANEIRO, M. et al. Ensaio de corrosão de longa duração de metais expostos ao ambiente das estações de tratamento de esgoto. *Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada*, Ponta Grossa, v. 5, n.1, p. 01-13, maio de 2018..
- MAINIER, F.B., SANDRES, G.C., TAVARES, S.S.M. (2007). Corrosão por sulfeto de hidrogênio (H₂S) e suas implicações no meio ambiente e na segurança industrial. 8º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECANICA Cusco, 23 a 25 de Outubro de 2007. 8p.
- OLIVEIRA, M.C., LIMA, A.P., FIGUEREDO, R.M., ACCIARI, H.A., CODARO, E.N. (2018). Um estudo termodinâmico da corrosão dos aços carbono pelo sulfeto de hidrogênio - explorando conceitos de equilíbrio químico. *QUÍMICA NOVA*, 41 (5), 594 – 599. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170186>. 5p.
- STANASZEK-TOMAL, E.; FIERTAK, M. Biological Corrosion in the Sewage System and the Sewage Treatment Plant. *Procedia Engineering*, v. 161, p. 116-120, 2016.