

GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE AUMENTANDO A VIDA ÚTIL DO AÇO NO SEGMENTO DE SANEAMENTO



RENATO CAVALCANTI DE A. TOZIN
Engenheiro Químico, Consultor Comercial, [Nexa Resources SAA](#), em Lima, Peru.
renato.tozin@nexaresources.com

Este trabalho tem como principal objetivo, além de realizar um breve comparativo entre os diferentes sistemas de proteção contra a corrosão, explicar brevemente o processo de galvanização por imersão a quente, características e propriedades do revestimento



RICARDO SUPLICY GOES
Gerente Executivo do [ICZ - Instituto de Metais não Ferrosos](#).
ricardo.goes@icz.org.br



RESUMO

O processo de galvanização por imersão a quente pode ser resumido na imersão de um substrato de aço ou ferro fundido, com a superfície limpa e preparada, em um banho de zinco fundido, a uma temperatura de 450° C, com o objetivo de recobri-la com uma camada protetora de zinco, retardando o efeito da corrosão. Durante a imersão das peças na cuba ocorre a reação entre o aço e o zinco, onde formam-se camadas intermetálicas por meio de um fenômeno de difusão e uma camada externa de zinco formada por arraste no momento da retirada das peças da cuba. Este trabalho tem como principal objetivo, além de realizar um breve comparativo entre os diferentes sistemas de proteção contra a corrosão, explicar o processo de galvanização por imersão a quente, características e propriedades do revestimento. Logo, se apresenta a importância de galvanizar o vergalhão, as características, os custos e alguns estudos de caso da utilização desse material na construção de estruturas. Para concluir, são apresentadas algumas fotos das principais aplicações de estruturas galvanizadas e caso de sucesso no setor de saneamento.

Palavras-chave: Corrosão, galvanização por imersão a quente, aplicações da galvanização, vergalhão galvanizado.

ABSTRACT

The Hot Dip Galvanization process can be summarized as the immersion of a previously prepared and cleaned surface of a steel or cast-iron substrate into a molten zinc dip, which temperature is around 450°C. The objective of this process is to cover the substrate's surface with a corrosion resistant zinc coat. During the immersion of the pieces into the galvanizing kettle, a metallurgical reaction between zinc and steel takes place, in which intermetallic layers are formed through diffusive phenomena. Meanwhile, the pulling out of the galvanized part from the kettle produces an outer coat. This work aims beyond a brief comparison amongst the different corrosion protection methods, to provides a brief description of the steps taken in the process of hot dip galvanization, characteristics, and properties of zinc coatings. Moreover, the importance of galvanizing steel rebars, their characteristics, costs, and case studies on their use in the construction industry are discussed. Finally, some pictures of the main applications of galvanized materials and case on the sanitation sector are shown.

Keywords: Corrosion, hot dip galvanizing, galvanizing applications, galvanized rebar

1. INTRODUÇÃO

1.1 O que é a corrosão?

A corrosão metálica é um fenômeno de deterioração de um metal ou liga pelo meio ambiente através de reações químicas de oxirredução que retornam o metal a seu estado combinado (óxido, hidróxido ou sal), termodinamicamente mais estável.

Na hora de criar produtos, buscamos na natureza aqueles materiais com propriedades (elétricas, mecânicas, químicas, etc.) que devem cumprir

com os fins para os quais foram criados. Em certas ocasiões, para obter essas propriedades, o mineral deve transformar-se e formar estruturas ou ligas metálicas aplicando energia. A corrosão é o processo de reação dos metais com o meio ambiente para voltar a seu estado combinado, que é o termodinamicamente mais estável, como observado na figura 1.



Figura 1 - Corrosão dos metais.

1.2 Por que o aço corrói?

Os aços são, em sua maioria, constituídos por ferro (mínimo 96% em massa), um elemento termodinamicamente instável na presença de oxigênio. Em condições atmosféricas além do oxigênio, a presença de água na forma de umidade acaba elevando ainda mais a agressividade do meio, acelerando a corrosão, a qual é caracterizada pela formação de uma camada porosa de coloração vermelha na superfície do aço.

1.3 Por que proteger o aço?

Segundo a 'The World Corrosion Organization', estima-se que os custos anuais associados à corrosão estão em torno de 3% do PIB das nações mais industrializadas. A aplicação de métodos de prevenção contra a corrosão seria capaz de reduzir este custo em até 25%.

1.4 Métodos de proteção do aço

Existem diversos sistemas de proteção contra a corrosão que podem ser utilizados em aço, entre os quais podemos citar:

- A utilização de ligas de aço resistentes à corrosão, como, por exemplo, o aço inoxidável ou o aço patinável;
- Métodos eletroquímicos, com a utilização de anodos de sacrifício;
- Recobrimentos protetores orgânicos (pinturas e vernizes), cerâmicos ou metálicos, onde focaremos este trabalho.

Os métodos de recobrimento consistem, como o próprio nome sugere, em recobrir a superfície do aço com uma camada constituída por outro material, isolando-o do contato direto com o meio corrosivo. Zinco, metais mais nobres que o ferro ou pintura são exemplos de recobrimentos geralmente utilizados.

Recobrimentos constituídos por metais nobres e pintura vão prevenir a corrosão da estrutura do aço devido à maior resistência química ao meio cor-

rosivo. Entretanto, caso ocorra alguma fissura do recobrimento, que exponha a superfície do aço ao meio corrosivo, a corrosão do aço será inevitável.

Já nos casos em que um recobrimento de zinco é utilizado, além da proteção por isolamento físico da superfície do aço (proteção por barreira), caso ocorra alguma fissura do recobrimento, permitindo o contato do meio corrosivo com a superfície do aço, o zinco irá protegê-lo catódicamente, pois, como o zinco é um metal menos nobre que o aço, isso garante que a corrosão ocorra no próprio zinco, preferencialmente, e com uma velocidade inferior, dada a menor taxa de corrosão do material, conforme a Tabela 1 abaixo.

A Figura 2 ilustra a diferença entre a utilização dos diferentes tipos de recobrimentos citados.

Tabela 1 – Comparação entre a velocidade de corrosão do aço e do zinco em diferentes ambientes.

Categoria de corrosividade	Taxa média anual de corrosão do zinco (µm/ano)	Taxa média anual de corrosão do aço carbono (µm/ano)
C1 – Muito Baixa interior: seco	<0,1	<1,3
C2 – Baixa interior: condensação ocasional exterior: rural	0,1 a 0,7	1,3 a 25
C3 – Média interior: alta umidade, pouca poluição no ar exterior: interior urbano ou costa urbana	0,7 a 2,1	25 a 50
C4 – Alta interior: piscinas, plantas químicas exterior: interior industrial ou costa urbana	2,1 a 4,2	50 a 80
C5 – Muito Alta interior: edificações ou áreas com condensação quase que permanente e com alta poluição exterior: industrial com alta umidade ou alta salinidade costal	4,2 a 8,4	80 a 200
CX – Extrema interior: edificações ou áreas com condensação quase que permanente e com alta poluição exterior: área costeira e "offshore" com alta salinidade	8,4 a 25	>200

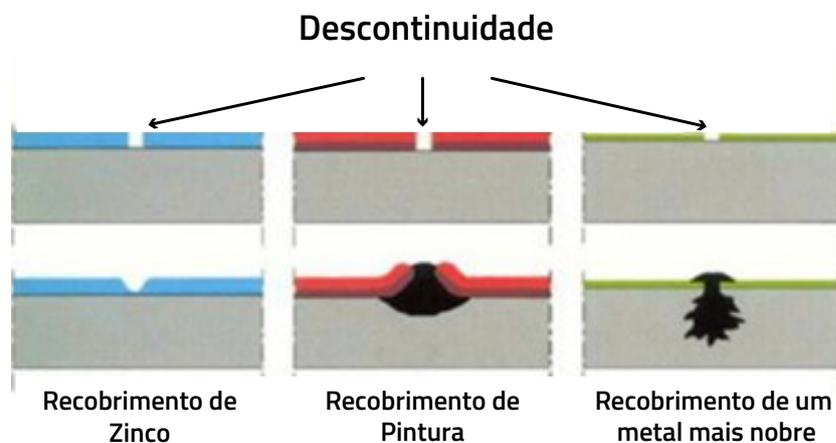


Figura 2 – Comparação gráfica entre diferentes sistemas de proteção do aço.

1.5 Critérios para definir o melhor método

Recobrimento de zinco pode ser obtido através de diferentes processos, cada um originando uma camada de recobrimento diferente e com características particulares, como pode ser observado na Figura 3. A escolha do recobrimento mais adequado depende de alguns fatores como:

- Tamanho da estrutura;
- Agressividade do meio em que a estrutura estará inserida;
- Condições de acesso em caso de necessidade de manutenção;
- Vida útil esperada do recobrimento.

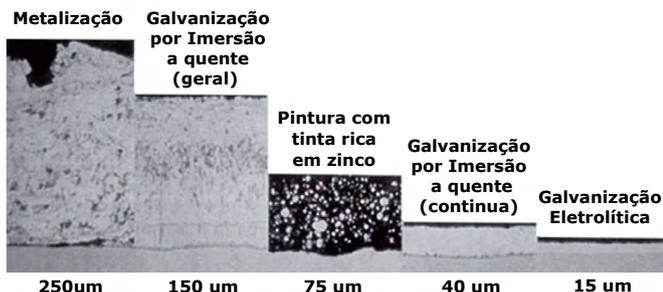


Figura 3 - Comparação dos diferentes sistemas de proteção de estruturas com zinco.

2. PROCESSO DE GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

Pode-se definir como o processo de revestimento com zinco de peças de aço ou ferro fundido de qualquer tamanho, peso, forma e complexidade, garantindo sua proteção contra à corrosão.

Basicamente, existem dois processos de galvanização por imersão a quente:

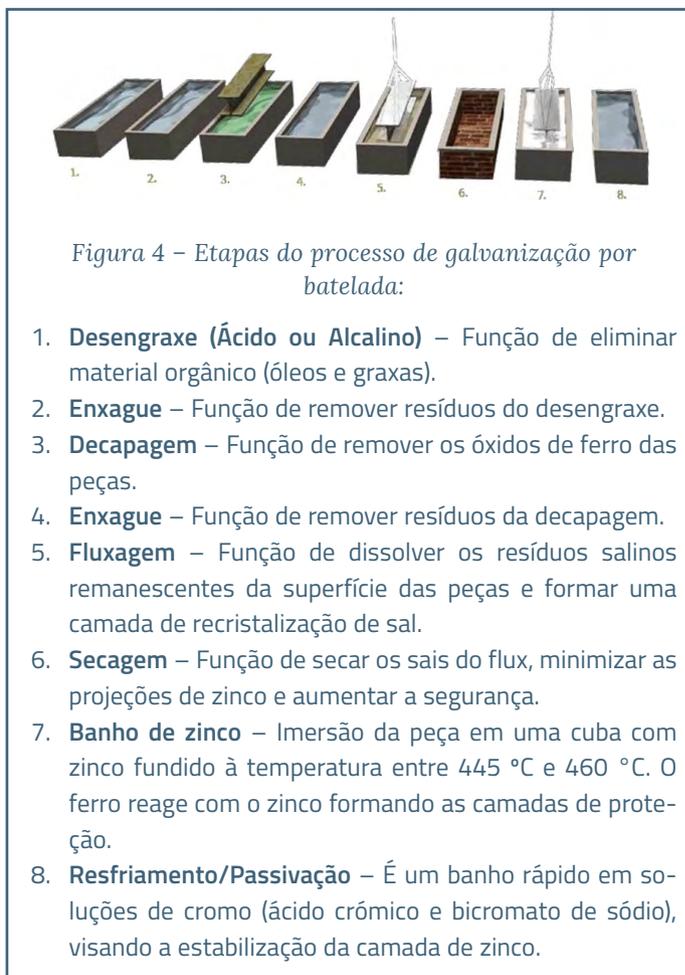
- **Batelada:** as peças de aço já fabricadas passam por um processo de limpeza e logo são submersas no banho de zinco; e
- **Contínuo:** São galvanizadas bobinas de aço que são destinadas à indústria automobilística, linha branca, fios/arames, e construção civil em geral.

2.1. Processo por Batelada:

Neste trabalho, somente focaremos em detalhar o processo por batelada, no qual as peças são imergidas em banhos prévios de limpeza até a imersão no zinco líquido. Nesta etapa ocorre a formação de uma reação metalúrgica que garante uma forte aderência do revestimento de zinco – superior se comparada a outros revestimentos.

Este processo é normatizado, com destaque para a norma ABNT NBR: 6323/2016 - Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido - Especificação.

Na Figura 4 é possível observar as etapas deste processo e, abaixo, estão as descrições e funções de cada etapa.



3. PROPRIEDADES DA GALVANIZAÇÃO

3.1. Dupla proteção contra a corrosão

O zinco protege o aço de duas maneiras: através de uma proteção por barreira, onde a camada de zinco protege o aço do contato com o meio, conforme a Figura 5; e através de uma proteção catódica, também conhecida como processo de cicatrização, quando, no caso de o revestimento ser danificado, o produto de corrosão do zinco, por ser aderente e insolúvel, se deposita sobre a superfície exposta do aço isolando-a novamente, conforme a Figura 6.

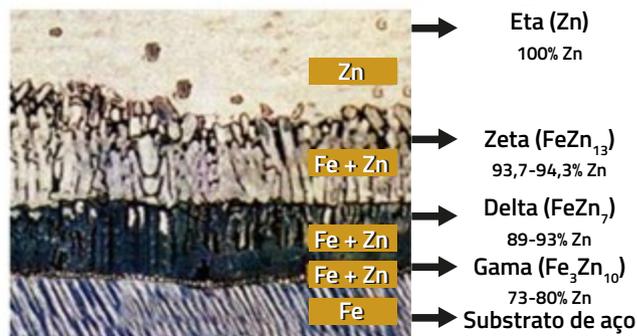


Figura 5 – Proteção por barreira.

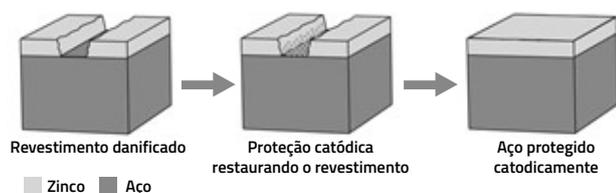


Figura 6 - Proteção Catódica.

3.2. Proteção dos cantos vivos

Além da já comentada, outra vantagem característica do processo de galvanização é a proteção nos cantos vivos das estruturas, pois mantém sua característica e espessura, protegendo toda a estrutura de maneira uniforme, como se pode observar na Figura 7.



Figura 7 - Proteção dos cantos vivos.

3.3. Proteção interna e externa

Finalmente, uma característica importante do processo de galvanização relacionado às peças tubulares é que, diferentemente de outros sistemas de proteção contra a corrosão, o processo de galvanização garante às peças tubulares uma proteção interna e externa.

4. SISTEMA DUPLEX

Outra possibilidade, ainda mais durável, é o sistema duplex. Consiste em um sistema de pintura aplicada sobre uma estrutura galvanizada e é ideal para ambiente com pH inferiores a 5 ou quando usado por motivos estéticos, de segurança ou de sinalização.

A grande vantagem deste sistema é o efeito de sinergia entre os recobrimentos. O sistema duplex promove uma vida útil superior – simplificando, seria a soma de vida útil do galvanizado mais a vida útil da pintura. A vida útil é de 1,5 a 2 vezes maior que a simples soma da durabilidade.

Por exemplo: se a pintura tem uma vida útil de 10 anos e a galvanização de 40 anos, com o sistema duplex a durabilidade seria de aproximadamente 75 anos (1,5 vezes).

Como já mencionado, quando o aço galvanizado sofre alguma fissura, o zinco sofre oxidação preferencial e o produto desta oxidação precipita sobre a falha, protegendo a região – proteção catódica. Caso a pintura sofra uma fissura, o zinco protegerá não somente o aço contra a corrosão, mas também evitará que a tinta sofra com as expansões dos óxidos de corrosão formados e se desprenda da estrutura.

Em relação ao tipo de pintura, é indicado utilizar tinta de fundo Epóxi-Isocianato e acabamento com Poliuretano Acrílico Alifático. Com a preparação adequada da superfície, como a limpeza mecânica (*brush off*) ou manual (escovas com arame de aço), que promova a remoção de, no máximo, 10% da espessura de camada de zinco e a não passivação da peça galvanizada na última etapa do processo da galvanização, se obtém uma boa aderência da tinta.

Não deve ser especificada tinta alquídica pela baixa resistência à alta umidade, imersão em água, meios alcalinos, produtos químicos e solventes fortes. Nesses casos pode ocorrer desprendimento da tinta em função de ser saponificável.

5. POR QUE GALVANIZAR O VERGALHÃO?

Existem algumas boas razões para galvanizar o vergalhão utilizado nas estruturas, entre elas:

- O aço é protegido contra a corrosão antes de submerso no concreto;
- Proporciona maior tolerância à natureza variável do concreto;
- Retarda o início da corrosão do aço reduzindo os riscos de fissuras, manchas de corrosão e desagregação do concreto;
- Reduz a frequência e a magnitude das reparações do concreto;
- Aumenta a vida útil da estrutura;
- Proporciona segurança e sustentabilidade à obra;
- Suas aplicações estão padronizadas de acordo a normas internacionais (ASTM A767, ISO 14657) e nacionais (ABNT NBR 16300:2016) que garantem a qualidade e características de aplicação.

Os vergalhões galvanizados proporcionam maior vida útil à estrutura devido a um processo corrosivo diferente do aço sem proteção. Na Figura 8 é possível observar um gráfico comparativo de corrosão em função do tempo para um vergalhão sem galvanizar e, logo, um galvanizado.

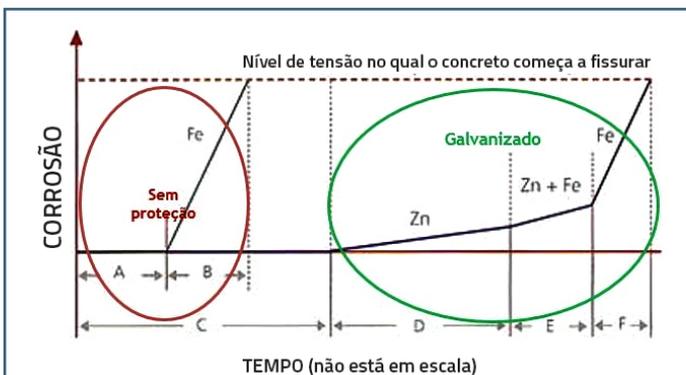


Figura 8 – Gráfico de corrosão em função do tempo para vergalhão sem galvanizar e galvanizado

Onde:

- A Período no qual o concreto é exposto aos agentes agressivos (CO_2 , cloretos e outros).
- B Período de oxidação destrutiva do aço sem recobrimento (linear) até o limite aceitável de deterioração do concreto.
- C Período de iniciação da oxidação do zinco. Extensão da durabilidade devido à maior tolerância dos íons cloretos e do pH.
- D Período de proteção enquanto se dissolve uma pequena parte da camada de zinco puro na superfície do aço.
- E Período de proteção adicional enquanto se dissolvem as camadas de liga Zn+Fe do recobrimento.
- F Ataque do aço exposto idêntico a B.

Na Figura 9 é possível observar como é o mecanismo de deterioração do concreto armado. Onde a primeira etapa é a carbonatação do concreto com CO_2 , logo, os elementos corrosivos como água, ar e cloretos atacam o concreto e finalmente esses elementos corrosivos atingem a armadura de aço através do concreto.

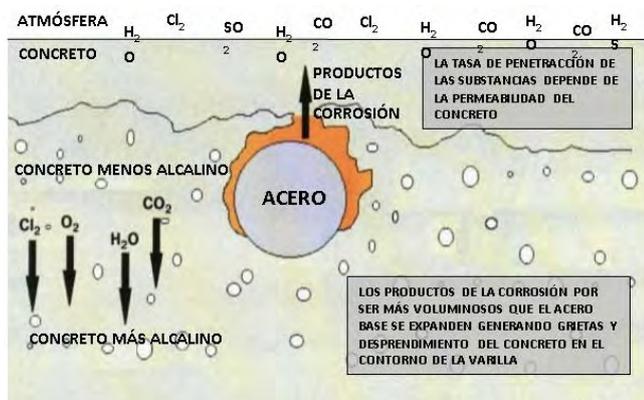


Figura 9 – Mecanismo de deterioração do concreto armado.

Por essas razões, galvanizar os vergalhões diminui o número de paradas para manutenções preventivas ou corretivas, além de reduzir o risco de acidentes e evitar uma eventual contaminação devido ao desprendimento das lajes, como pode ser observado nas Figuras 10 e 11.



Figuras 10 e 11: Corrosão dos vergalhões na laje de concreto de reservatório de tratamento de água.

6. APLICAÇÕES DE ESTRUTURAS GALVANIZADAS NO SETOR DE SANEAMENTO

A galvanização confere proteção contra a corrosão, sendo primordialmente utilizada por motivos de segurança e, eventualmente, por motivos estéticos.

O setor de saneamento possui investimentos significativos em infraestrutura, no qual o aço desempenha um papel muito importante, pois está presente em diversas estruturas, seja para dar sustentação ao concreto nas

instalações e edificações de Estações de Tratamento de Água e de Esgoto, adicionando robustez e durabilidade ao concreto, seja em quaisquer elementos metálicos que fazem parte das estações e reservatórios, como guarda-corpos, escadas, corrimãos, plataformas, entre outros.

Realizar manutenção nessas estruturas pode ser complicado devido ao entorno onde estão instaladas, incluindo ambientes que constantemente contêm gases corrosivos, ou mesmo pelo seu acesso limitado, como ocorre nos poços e galerias. Portanto, deve-se especificar um sistema de proteção para o aço que não necessite de manutenção, que seja duradouro e econômico.

Além de oferecer maior resistência aos agentes agressivos presentes em quantidade elevada nessas estações, evitando a corrosão e prolongando a vida útil de suas instalações, a galvanização abrange também a possibilidade de reciclagem dos materiais utilizados na construção dessas estações e redes de distribuição de água e coleta de esgotos, agregando um viés de sustentabilidade em um setor tão importante e essencial à população.

Abaixo serão apresentadas algumas das aplicações mais conhecidas no setor de saneamento:

Estruturas Corrugadas: Bueiros e galerias, canalização de córregos e rios, cobertura para correia transportadora, drenagem pluvial e esgoto (conforme pode ser visto na Figura 12), passagem inferior, canalização de córregos e rios (conforme pode ser visto na Figura 13).



Figura 12: Estrutura Corrugada.



Figura 13: Canalização de córregos e rios.

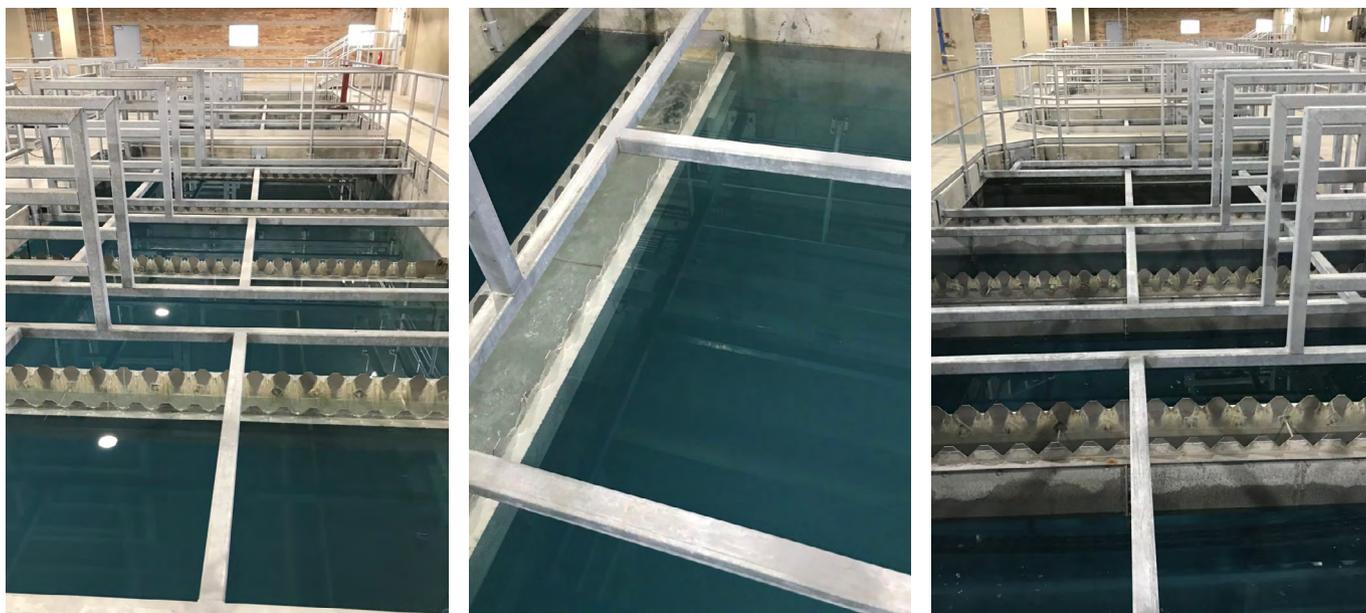
Túneis para diversas aplicações: Galerias de drenagem pluvial e esgoto, passagens de pedestres e veículos (conforme pode ser visto na Figura 14), recuperação de galerias obstruídas ou deterioradas, tubos camisa para proteção mecânica de tubulações de água, esgoto, combustíveis e demais instalações, canalização de córregos.



Figura 14: Túnel para passagem de veículos.

Caso Collins Park Water Treatment Plant - Cidade de Toledo – Ohio/EUA: A Estação de Tratamento de Água Collins Park é responsável pela produção, filtração e controle de qualidade eficazes da água para a cidade de Toledo, nos Estados Unidos. A responsabilidade da estação começa na captação de água bruta, no Lago Erie, e se estende por todo o processo de tratamento. Essa divisão trata uma média de 284.000 m³ de água por dia, uma tarefa de alta responsabilidade para a região.

Em nenhum momento do processo é permitido que a água pare de se mover. Todas as áreas dentro da planta podem ser isoladas, de forma que manutenções ou reparos possam ser feitos sem afetar o fluxo ou a qualidade da água produzida. A estação de tratamento



15 a 17: Estação de Tratamento de Água Collins Park, cidade de Toledo – Ohio – EUA (Fonte: AGA).

de água de Toledo é conhecida não só pela quantidade e qualidade da água produzida, mas também pela dedicação de sua equipe na implementação de melhorias, tanto na análise quanto no tratamento da água. É por esses motivos que muitas comunidades suburbanas compram água de Toledo e por que muitas empresas optam por se instalar na área de Toledo.

A cidade especificou um sistema sustentável que duraria mais de 100 anos. Eles escolheram a galvanização por imersão a quente junto com revestimentos duplex para as vigas estruturais e aço inoxidável – para o aço submerso em água. A Estação de Tratamento de Água Collins Park garante que os consumidores recebam água cristalina da mais alta qualidade. O teste da água é realizado 24 horas por dia, 365 dias por ano. Fotos da estação podem ser observadas nas Figuras 15 a 17. (Fonte: AGA)

Estruturas metálicas em geral: Passarelas, guarda-corpos, escadas, corrimãos, plataformas, etc. De uma maneira geral, toda estrutura de aço existente em uma obra deveria contemplar um sistema de proteção contra a corrosão, onde a galvanização por imersão a quente aporta uma excelente resistência, por um longo período.

7. CONCLUSÕES

Em um cenário onde cada vez mais existe a busca por construções sustentáveis e onde se estima que de cada duas toneladas de aço produzidas, uma é para substituir o aço corroído, a galvanização por imersão a quente é o uso eficiente do zinco para proteger o aço,

economizando recursos com um menor impacto ao meio ambiente. Além disso, visando cada vez mais contribuir com a qualidade de vida e a saúde das pessoas, evitando o desperdício de água e paradas por necessidade de manutenção, galvanizar as estruturas aporta inúmeras vantagens, como o aumento da vida útil do aço, a redução de custo e paradas com manutenção, rapidez no processo, e compatibilidade com outros sistemas, como o sistema duplex, por exemplo.

Assim, pode-se dizer que o aço galvanizado cumpre com os três vértices da sustentabilidade: social, ambiental e econômico.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SILVA, M. V. F. et al. *Corrosão do aço-carbono: uma abordagem do cotidiano no ensino de química*. Química Nova, v.38 n. 2, 2015;
- The World Corrosion Organization (<https://corrosion.org/Corrosion+Resources/Publications.html>);
- ICZ – Instituto de Metais não Ferrosos (<http://www.icz.org.br/>);
- AGA – American Galvanizers Association (<https://www.galvanizeit.org/>);
- IZA – International Zinc Association (<http://www.zinc.org/>);
- ATEG – Asociación Técnica Española de Galvanización (<http://www.atteg.es/>). 🚩