

## **ESTRATÉGIAS EFICAZES NA PREVENÇÃO DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS DE PONTES: UMA ANÁLISE DE CASO**

Jhonathan Wellington Golçalves Oliveira (Centro Universitário Campo Real); Lucas Henrique Szereda (Centro Universitário Campo Real); Matheus Gonçalves Nascimento (Centro Universitário Campo Real); Rafaela Franqueto (Centro Universitário Campo Real) E-mail: prof\_rafaelafranqueto@camporeal.edu.br

**Resumo:** O estudo examina a importância da proteção e prevenção da corrosão em estruturas metálicas de pontes, por meio da construção de um protótipo de ponte em arco. A pesquisa destacou como a escolha dos materiais, a configuração geométrica e as técnicas de soldagem impactam na prevenção da corrosão. Além disso, abordou a importância da pintura como uma medida anticorrosiva, enfatizando a complexidade envolvida na seleção da tinta, no tratamento prévio e nas condições ambientais. Apesar dos esforços realizados, a corrosão permanece um fenômeno natural nas estruturas metálicas. O estudo foi para a aplicação de conhecimentos na preservação de infraestruturas críticas, como pontes, contribuindo para sua segurança e durabilidade.

**Palavras-chave:** Revestimentos anticorrosivos; Protótipos; Tecnologias de proteção; Corrosão galvânica.

## **EFFECTIVE STRATEGIES FOR PREVENTING CORROSION IN METAL BRIDGE STRUCTURES: A CASE ANALYSIS**

**Abstract:** The study examines the importance of corrosion protection and prevention in metal bridge structures by building a prototype arch bridge. The research highlighted how the choice of materials, geometric configuration and welding techniques impact on corrosion prevention. It also looked at the importance of paint as an anti-corrosion measure, emphasising the complexity involved in the selection of paint, prior treatment and environmental conditions. Despite the efforts made, corrosion remains a natural phenomenon in metal structures. The study was for applying knowledge to the preservation of critical infrastructures such as bridges, contributing to their safety and durability.

**Keywords:** Anti-corrosion coatings; Prototypes; Protection technologies; Galvanic corrosion.

### **1. Introdução**

Ponte é a obra destinada a permitir transposição de obstáculos à continuidade de uma via de comunicação qualquer Pfeil (1983). Considerando que, em geral, as pontes estão sujeitas a ambientes externos com altos níveis de agressão ambiental, tais como áreas urbanas, industriais e costeiras, torna-se absolutamente fundamental adotar medidas destinadas a proteger e prevenir a corrosão atmosférica das estruturas metálicas das pontes (VITÓRIO, 2018).

A corrosão é um processo espontâneo de degradação que deve ser analisado com atenção, pois afeta os metais de maneira a reduzir sua durabilidade e desempenho. Além disso, a corrosão envolve custos significativos e representa perigos para a sociedade, conforme observado por Gentil (2011). Este fenômeno pode comprometer a integridade estrutural de equipamentos e infraestruturas, resultando em riscos de falhas catastróficas e exigindo investimentos consideráveis em manutenção e substituição. Portanto, é fundamental implementar estratégias eficazes de prevenção e controle da corrosão para mitigar seus impactos econômicos e de segurança.

Para que esse processo de corrosão não ocorra, pode-se empregar o processo de galvanização, tornando assim as estruturas de metal com mais vida útil (VITÓRIO,

2015). Embora haja esse problema de corrosão, o aço ainda é mais utilizado devido ao seu baixo custo, e a fácil maneabilidade e resistência do material.

Construiu-se um protótipo de uma ponte em arco, utilizando vários tipos de aço, expondo o material em situações diversas tendo em vista que ao entrar em contato com o oxigênio e a água pode ocasionar a perda das propriedades mecânicas do metal, esse processo pode variar dependendo das condições em que a ponte irá habitar, levando em consideração que há lugares onde ocorrem chuvas ácidas e lugares com maior índice de maresia a corrosão será mais intensa, levando a estrutura a falência mais rápido.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Construção do protótipo 1**

O modelo de ponte escolhida para o presente estudo foi o modelo em arco, com tabuleiro inferior

Na construção do protótipo da ponte, foram utilizados os seguintes materiais: aço-carbono SAC 1008/1012 em forma de perfil U e tubo industrial com espessuras de 5mm e 1mm respectivamente, aço tipo CA-50 e CA-60 em forma de vergalhão com espessuras de 10 mm e 5 mm respectivamente.

Para o início foram utilizados dois perfis U ambos com 1m de comprimento e 0,10 m de largura, que foram unidos por meio da soldagem por fusão para formar a base da pista resultando em uma pista com 1 m de comprimento e 0,20 de largura, 4 tubos industriais 0,04x0,04 por 0,30 de comprimento, para montagem dos pilares de sustentação da ponte, dois vergalhões de 0,10m com 1,50 m na construção do arco, para o sistema de travamento foi utilizado os vergalhões de 0,005 m.

Figura 1. Protótipo da ponte em arco em desenvolvimento



Fonte: Autores (2024)

É importante que o projeto de uma ponte apresente uma adequada configuração geométrica que evite o acúmulo de água e de outros materiais estranhos tem uma considerável influência na prevenção da corrosão.

A NBR 8800/2008 (ABNT, 2008) propõe que, nos projetos de estruturas metálicas, sejam adotadas as precauções a seguir: projetar superfícies inclinadas ou chanfradas; eliminar seções abertas no topo ou sem um arranjo em posição inclinada; eliminar bolsas e recessos, onde a água e sujeira possam ficar retidas e permitir a drenagem eficaz da água e de líquidos corrosivos para fora da estrutura. O protótipo seguir as recomendações da norma, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2. Travamento da estrutura do protótipo por soldagem



Fonte: Autores (2024)

A implementação de um procedimento de soldagem apropriado desempenha um papel significativo na prevenção e controle da corrosão. Para alcançar esse objetivo, é fundamental evitar a presença de cordões de solda intermitentes ou contínuos que possam reter água e outros materiais corrosivos. A soldagem deve ser realizada com rigoroso controle de qualidade, assegurando ao mesmo tempo a acessibilidade adequada para inspeções e manutenções.

## 2.2 Construção do protótipo 2

No processo de construção, a base foi feita com blocos de concreto medindo 25x10 centímetros, nos quais foram fixados tubos galvanizados com 3,2 centímetros de diâmetro na vertical, representando os quatro pilares centrais, além dos quatro pilares de ancoragem nas pontas, que tinham 2 centímetros de diâmetro.

Em seguida, uma chapa de 1 milímetro foi aplicada nos pilares para representar a pista e permitir a idealização da curvatura do projeto. Posteriormente, ferro de 8 milímetros foi moldado para simbolizar os cabos de aço horizontais, que ancorariam os ferros revestidos de cobre com 2,5 milímetros na vertical.

Para identificar as divisões da pista, foi utilizado ferro com 2 milímetros como uma espécie de mureta soldada sobre a estrutura da chapa.

Figura 3. Montagem da ponte



Fonte: Autores (2024)

Nas pontes pênses, as conexões, sejam elas parafusadas ou soldadas, unem os cabos de sustentação aos cabos complementares em grande escala. No entanto, essas conexões frequentemente apresentam um avançado estado de corrosão em suas superfícies, assim como as polias localizadas nas torres de sustentação. A corrosão é predominantemente causada pela exposição às condições atmosféricas adversas (alta umidade relativa, variações de temperatura e a presença de substâncias poluentes) (FORMAIO et al. 2023). Desta forma, o processo de montagem, do presente projeto, envolveu a solda MIG, devido à finura e diferentes espessuras dos materiais utilizados.

Por fim, silicone foi utilizado para preencher fissuras, seguido de pintura com tinta spray preta para o fundo, tinta laranja para o acabamento final e faixas brancas com o pincel para sinalização na pista.

### **3. Resultados e discussões**

Segundo Brinck (2004), a durabilidade de uma estrutura corroída pode ser dividida em duas fases: a fase inicial e a fase de propagação. Na fase inicial, não há perda significativa da seção transversal dos perfis metálicos. Já na fase de propagação, ocorre a redução da seção, comprometendo a integridade da estrutura.

As principais causas de corrosão em pontes metálicas, incluem fatores como a atmosfera, com destaque para a presença de poeira, a flutuação na umidade ambiental e a exposição a gases corrosivos, tais como gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), anidrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ), anidrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ) e trióxido de nitrogênio ( $\text{N}_2\text{O}_3$ ) (BRINCK, 2004).

Além do mencionado acima, a presença de vazamentos ou infiltrações pode aumentar o risco de corrosão (BRINCK, 2004), visto que, Quando expostos à umidade, os metais podem sofrer dissolução de sais ou gases, o que inicia o processo corrosivo. Nesse contexto, o material que doa elétrons passa por oxidação, resultando em corrosão (FURTADO, 1981; DIAS, 2006).

A norma NBR 16694 (ABNT, 2020) incorporou diretrizes relacionadas à durabilidade de componentes de aço em relação à corrosão. Dentre as recomendações estão a proteção com pintura e a galvanização.

A pintura é a forma mais empregada para proteger as estruturas metálicas contra a corrosão atmosférica. A escolha desse tipo de proteção, bem como a seleção da pintura mais adequada, está condicionada a diversos fatores, incluindo o ambiente em que a estrutura está situada, as condições de aplicação e o processo de secagem e endurecimento da tinta, com especial atenção à temperatura e à umidade. Além disso, é essencial levar em consideração o tipo de tratamento prévio e o estado do substrato antes da aplicação da pintura. Esses elementos desempenham um papel fundamental na eficácia da proteção contra a corrosão (VITÓRIO, 2015).

Esse tipo de proteção engloba tanto a fase de pré-tratamento quanto a aplicação da pintura, sendo essencial que ambas as etapas sejam compatíveis entre si. É importante ressaltar que tintas de alta qualidade e mais avançadas exigem um pré-tratamento adequado para assegurar resultados satisfatórios. A harmonização entre o pré-tratamento e a aplicação da pintura desempenha um papel fundamental na eficácia da proteção contra a corrosão.

Figura 4. Pintura realizada no protótipo



Fonte: Autores (2024)

Vale et al. (2020) destacam que, apesar de todos os avanços no campo da manutenção preventiva voltada para mitigar os efeitos das ações corrosivas, é inviável eliminar completamente o seu aparecimento. Isso ocorre porque a corrosão é um fenômeno natural e intrínseco a todas as estruturas de ferro e aço, surgindo de forma espontânea ao longo do tempo.

Quanto à conservação, optou-se por utilizar tinta especial para maresia, mais

especificamente a tinta "METALATEX LITORAL" da marca "Sherwin-Williams", de alta qualidade e indicada para superfícies com exposição a condições climáticas adversas, como chuva, raios UV, umidade e maresia. A pintura foi aplicada em três demãos para garantir um resultado duradouro, na cor laranja (semelhante a Ponte Golden Gate, em São Francisco (EUA)).

Figura 5. Pintura executada no projeto da Ponte



Fonte: Autores (2024)

Os cabos de sustentação presentes na ponte, podem apresentar reações de oxidação. Para evitar o início da oxidação é preciso aplicar pintura. Já para evitar a evolução da oxidação e tratar a área já danificada é necessário fazer a limpeza com tratamentos químicos ou mecânicos, com posterior aplicação de pintura anticorrosiva (FORMAIO et al. 2023).

No entanto, em algumas situações, a corrosão pode atingir um nível tão avançado que as únicas soluções adequadas são o reforço ou a substituição dos elementos corroídos. A escolha entre essas alternativas depende do grau de dano à estrutura. Quando apenas uma parte da estrutura está danificada, a opção recomendada é o reforço, que pode envolver a soldagem de chapas para garantir continuidade física e manter as propriedades geométricas do perfil metálico. Por outro lado, a substituição completa dos elementos corroídos é a opção apropriada quando se determina que o reforço por si só não é suficiente para garantir a segurança estrutural. Em casos envolvendo estruturas de aço, que são relativamente fáceis de substituir, essa última alternativa pode ser mais econômica, como observado por Castro (1999).

Pode-se verificar ainda, os efeitos da dilatação e da contração em diversas situações do dia a dia devido às mudanças de temperatura. Por exemplo, é comum deixar pequenos espaços entre os blocos de concreto de uma ponte para acomodar a expansão térmica.

Em dias de temperaturas muito baixas, esses espaços tendem a aumentar. Os cabos de aço da Ponte Golden Gate em São Francisco (EUA), podem se estender até 1,50 metros a mais no verão do que no inverno devido ao fenômeno de dilatação térmica.

A manutenção em geral tem sido um tema em recorrência na engenharia civil nos últimos anos devido aos diversos acidentes e ao alarme da mídia em relação ao estado precário em que as obras públicas em geral têm estado. Em relação à manutenção da ponte, devido à sua natureza "pênsil", planejou-se dividir cada vão livre (entre os cabos) na parte central da ponte, de um pilar até o outro, em segmentos de 10 centímetros cada (totalizando 7 vãos), enquanto nas pontas, dos pilares centrais até os menores, a divisão foi de 20 centímetros (totalizando 4 vãos, 2 de cada lado). Isso permite que apenas os segmentos prejudicados, seja por quebra, apodrecimento, ferrugem, etc., sejam substituídos, sem a necessidade de desmontar toda a ponte.

#### **4. Considerações Finais**

Neste estudo, foi explorado a importância da proteção e prevenção da corrosão em estruturas metálicas de pontes, com um foco específico na experiência adquirida pelos alunos ao construir um protótipo de ponte em arco. Por meio deste projeto, verificou-se os desafios e complexidades envolvidos na preservação de estruturas metálicas em ambientes altamente corrosivos.

A construção do protótipo permitiu a compreensão de que a escolha dos materiais e a configuração geométrica desempenham um papel fundamental na prevenção da corrosão. A implementação de recomendações das normas demonstrou a importância de projetar superfícies que evitem o acúmulo de água e sujeira, contribuindo para a durabilidade da estrutura.

Ao abordar detalhadamente o processo de construção e as estratégias de conservação adotadas, fica evidente a necessidade de se manter um cuidado constante com essas estruturas para garantir não apenas sua integridade, mas também a segurança pública. Além disso, a abordagem de segmentação na manutenção, permitindo a substituição seletiva de componentes danificados, revela uma abordagem eficaz para minimizar os custos e interrupções no uso das pontes. Portanto, a manutenção adequada não só prolonga a vida útil das pontes, mas também contribui para a preservação de seu valor cultural e artístico, assegurando que essas estruturas continuem a desempenhar um papel significativo na mobilidade e na história da sociedade.

#### **Referências**

- ABNT **NBR 8800** - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios, Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452. Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.
- Marechal Hermes. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, UFOP, Ouro Preto, 2004.
- CASTRO, E.M.C. Patologia dos edifícios em estrutura metálica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.
- DIAS, L. A. M. Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem. São Paulo: Zigurate, 2006.

FORMAIO, A. L. et al. Avaliação das manifestações patológicas da ponte pênsil Padre Mathias Michelizza localizada entre os municípios de Capinzal e Ouro, em Santa Catarina. *Conhecimento em Construção*, Joaçaba, v. 10, p. 53-82, 2023.

FURTADO, P. *Introdução à Corrosão e Proteção das Superfícies Metálicas*: Imprensa Universitária da UFMG, Belo Horizonte, 1981.

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

MARTINS, A. C. P. et al. Patologia e inspeção de pontes em concreto armado: Estudo de caso da ponte sobre o Rio Sapucaí Grande. *Pouso Alegre*. 2022.

PFEIL, W. **Pontes: curso básico: projeto, construção e manutenção**. Rio de Janeiro: Campus, 1983.

VASCONCELOS, F. de O. Análise das manifestações patológicas em pontes de concreto armado – estudo de caso. Delmiro Gouveia, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2018. VALE, F.A.P et al. A prevenção de alterações em estruturas metálicas visando a sustentabilidade. **Brazilian Journals of Business**, 2020.

VITÓRIO, J.A.P. **Pontes Metálicas e Mistas: Tópicos de conservação, danos e reforços estruturais**. Recife, 2015.

VITÓRIO, J. A. P. *Conservação, Danos Estruturais e Reforço de Pontes Metálicas e Mistas*. **X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**, 2018.