cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Desempenho anticorrosivo de revestimentos de NiP autocatalítico frente ao aço galvanizado em atmosfera de SO_2: aplicação em torres de transmissão de energia

Camila Marçal Gobi Pacher[1], Kleber Franke Portella[1], Andressa Munique Garcia[1], Alexandre Latorre[2], Fernando Almeida Diniz[2]
[1]Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec), Curitiba, PR; [2]ARGO Energia, São Paulo, SP | camila.gobi@lactec.com.br

Introdução

Em atmosferas com SO_2, o zinco se converte em sulfatos e hidroxissulfatos solúveis, sem caráter de barreira, e o galvanizado das torres se consome prematuramente.

O NiP autocatalítico de alto teor de fósforo é candidato a substituí-lo. Por ser mais nobre que o aço, porém, protege apenas como barreira.

O tratamento térmico endurece o depósito, mas a cristalização introduz microporos e microtrincas.

Não conhecemos estudo que compare NiP e galvanizado na mesma exposição ao SO_2, com exame do aço sob cada revestimento.

Objetivos

Comparar o NiP de alto teor de fósforo, amorfo e tratado termicamente, com o aço galvanizado sob exposição acelerada ao SO_2, verificar se a ordem por perda de massa reflete a proteção do aço e identificar o mecanismo de falha de cada sistema.

Metodologia

- Cilindros de aço carbono receberam zinco por imersão a quente, com (93,7 ± 8,5) µm, ou NiP de alto teor de fósforo, com (42,9 ± 3,2) µm, como depositado (amorfo) ou tratado a 400 °C por 1 h em ar controlado.
- A exposição seguiu a ASTM G87, com retiradas em 72, 120 e 168 h.
- A perda de massa foi medida após a remoção química dos produtos.
- DRX, MEV/EDS e FTIR-ATR caracterizaram revestimentos e produtos.

Resultados e Discussão

- O DRX confirmou o depósito amorfo e a cristalização parcial após o tratamento térmico.
- Em 168 h, o galvanizado perdeu (115,9 ± 8,3) g/m², cerca de 2,3 e 4 vezes mais que o NiP tratado, (50,6 ± 4,0) g/m², e o NiP amorfo, (28,9 ± 0,8) g/m² (Figura 1).
- O NiP tratado perdeu mais massa que o amorfo em todas as retiradas.

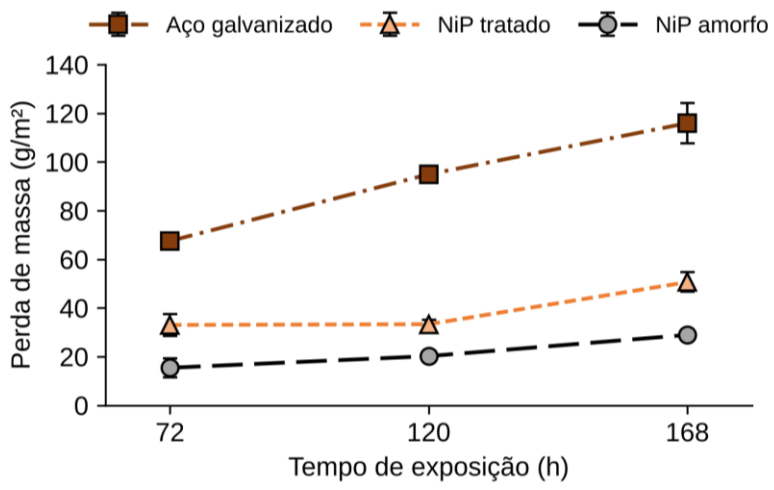


Figura 1. Perda de massa acumulada por área. Barras: desvio-padrão para os NiP em 168 h.

A ordem por perda de massa, porém, não reflete a proteção do aço. O galvanizado não formou ferrugem vermelha, enquanto os dois NiP ficaram cobertos por α-FeOOH (FTIR), com Fe:Ni de cerca de 15:1 no produto superficial (EDS) (Figura 2).
Como o revestimento não contém ferro, o eletrólito alcançou o substrato.



Figura 2. Aspecto dos cupons após 168 h de exposição à névoa com SO_2.

- Nas seções (Figura 3), o aço sob o zinco residual continha apenas Fe. Sob os dois NiP, o aço foi atacado, e o produto rico em Fe continha enxofre de origem predominantemente atmosférica.
- No NiP tratado, uma trinca com produto atravessou o revestimento. O zinco protege o aço por sacrifício.
- O NiP, mais nobre, forma com o aço exposto em um defeito, um par galvânico de cátodo extenso e ânodo restrito, que concentra o ataque.

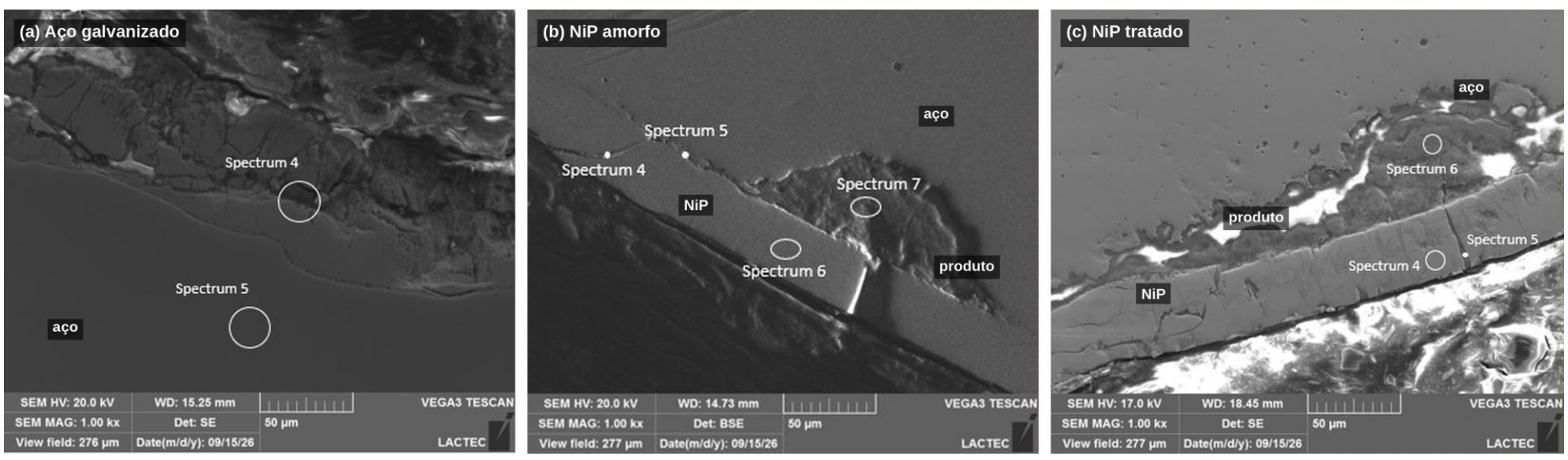


Figura 3. Seções transversais após 168 h (MEV, 1.000×): (a) aço galvanizado: aço íntegro sob o Zn residual; (b) NiP amorfo: cavidade no aço com produto rico em Fe, O e S, sob revestimento fraturado; (c) NiP tratado: trinca com produto através do revestimento e banda de produto entre revestimento e aço.

Conclusões

Baixa perda de massa pode coexistir com ataque ativo do aço quando o revestimento é uma barreira mais nobre que o substrato.

O galvanizado perdeu mais massa, mas o aço sob o zinco residual não mostrou ataque. Os dois NiP tiveram a barreira rompida em até 168 h, e o tratamento térmico agravou o desempenho.

Na espessura estudada, os resultados não sustentam o NiP como alternativa ao galvanizado em torres.

Agradecimentos. À Argo Energia, pelo financiamento no âmbito do Programa de P&D da ANEEL (PD-010737-0002/2022); e ao Lactec, pela infraestrutura.

Referências

- PERSSON, D.; THIERRY, D.; KARLSSON, O. Corrosion and corrosion products of hot dipped galvanized steel during long term atmospheric exposure at different sites world-wide. **Corrosion Science**, v. 126, p. 152-165, 2017.
- WALSH, F. C. et al. Electrochemical characterisation of the porosity and corrosion resistance of electrochemically deposited metal coatings. **Surface and Coatings Technology**, v. 202, p. 5092-5102, 2008.
- PARKINSON, R. **Properties and applications of electroless nickel**. [S.l.]: Nickel Development Institute, 1997. (NiDI Technical Series, 10081).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G87-02 (2018)**: standard practice for conducting moist SO_2 tests. West Conshohocken: ASTM International, 2018.
- OLDHAM, K. B.; MANSFELD, F. Galvanic corrosion resulting from rupture of a protective metallic coating. **Journal of Applied Electrochemistry**, v. 2, p. 183-191, 1972.