



## Estudo da Resistência à Corrosão do Aço SAE 1020 com Revestimento Metálico de Zn, Zn-Ni, Ni e Tratamento de Conversão Superficial com Ácido Oxálico

dos Santos, J.A.<sup>1\*</sup>, Liu, T.G.S.<sup>2</sup>, Bispo, E.F.<sup>3</sup>, da Rocha, C.L.F., Dra. Eng. Metalúrgica<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Graduando, Engenharia Química, Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA, Brasil. [assuncaojoaovitor5@gmail.com](mailto:assuncaojoaovitor5@gmail.com)

<sup>2</sup> Mestranda, PPEQ/UFBA, Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA, Brasil. [thayrineliu@gmail.com](mailto:thayrineliu@gmail.com)

<sup>3</sup> Mestranda, PPEQ/UFBA, Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA, Brasil. [linabispo@yahoo.com.br](mailto:linabispo@yahoo.com.br)

<sup>4</sup> Dra. Eng. Metalúrgica, PPEQ/UFBA - Docente, Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA, Brasil. [cfanezi@gmail.com](mailto:cfanezi@gmail.com)

\* Autor correspondente: João Vitor Assunção dos Santos ([assuncaojoaovitor5@gmail.com](mailto:assuncaojoaovitor5@gmail.com)).

Rua Aristides Novis, 02, Federação, CEP 40210-630, Salvador, Bahia, Brasil.

### RESUMO

Neste trabalho foi proposto o uso dos banhos de Zn, Zn-Ni e Ni para o aumento de resistência do aço SAE 1020 em combinação com o tratamento de conversão superficial utilizando ácido oxálico. Transcorreu ensaios de perda de massa, a fim de avaliar o efeito da conversão (simulando como ambiente corrosivo áreas litorâneas, que possuem alta salinidade na atmosfera), com intuito de evidenciar o ganho da resistência à corrosão com a metodologia proposta. Além de revestir o metal com depósitos com maior resistência à corrosão, realizou-se um tratamento de conversão superficial,

que consiste na imersão do componente na solução, gerando na superfície sais (oxalatos) que promovem ainda mais proteção contra a corrosão em atmosferas corrosivas para atuar como uma base sob a superfície para a formação de uma camada de hidroxidocloreto de zinco e níquel hidratado.

**Palavras-chave:** Corrosão; Oxalatos; Zinco; Níquel; Conversão.

### ABSTRACT

In this work, the use of Zn, Zn-Ni and Ni baths was proposed to increase the resistance of SAE 1020 steel in

combination with surface conversion treatment using oxalic acid. Weight loss tests were performed to evaluate the effect of the conversion (simulating coastal areas as corrosive environments, which have high salinity in the atmosphere), with the aim of demonstrating the gain in corrosion resistance with the proposed methodology. In addition to coating the metal with deposits with greater corrosion resistance, a surface conversion treatment was performed, which consists of immersing the component in the solution, generating salts (oxalates) on the surface that provide even greater protection against corrosion in corrosive atmospheres to act as a base under the surface for the formation of a layer of hydrated zinc and nickel hydroxychloride.

**Keywords:** Corrosion; Oxalates; Zinc; Nickel; Conversion.

## INTRODUÇÃO

Corrosão é um dos grandes problemas que a indústria enfrenta quando seleciona materiais para determinadas aplicações, cujo metal atingido pode sofrer danos à integridade da sua estrutura pela perda de massa causada pela corrosão (1) (2). Em uma

atmosfera com alta incidência de salitre marinho, a corrosão ocorre devido aos cloretos de sódio e magnésio oriundos do meio marinho (3) (4). Uma das técnicas mais utilizadas para aumentar a resistência à corrosão dos materiais é o uso de revestimentos metálicos. Muitos metais/ligas são usados para estes revestimentos, sendo aplicados de modo eletrolítico, de fácil manuseio e baixo custo industrial. Além de revestir o metal com uma liga metálica de maior resistência à corrosão, é possível realizar um tratamento de conversão superficial, onde o componente, já com o revestimento metálico eletrodepositado é imerso em ácido oxálico por um certo tempo, gerando na superfície sais (oxalatos) que promovem ainda mais proteção contra a corrosão em atmosferas corrosivas. Os oxalatos de zinco e/ou níquel formados atuam como uma base sob a superfície para a formação de uma camada de hidroxicloreto de zinco e/ ou níquel hidratado, sendo esta uma fina película protetora. Dessa forma, o ácido oxálico convertido na superfície metálica terá a função estabilizadora, observada na pesquisa para tratamento dos eletrodepósitos de Zn, Zn-Ni e Ni. Nesse contexto, a taxa de corrosão é uma análise importante para a avaliação da corrosão ao longo

do tempo, sendo um indicador crucial para prever a vida útil dos metais em atmosferas corrosivas, como o meio de NaCl 0,5 M. Deste modo, é possível avaliar se há desgaste físico-químico na estrutura oriundo de um processo de corrosão, em que o determinado metal pode sofrer redução de espessura e ocasionar em falha mecânica (5). Neste trabalho foi proposto o uso do banho de Zn, Zn-Ni e Ni para o aumento de resistência do aço SAE 1020 em combinação com o tratamento de conversão superficial utilizando ácido oxálico, em que foi pensado não só em meios corrosivos com importantes aplicações em setores industriais, como também no contexto de cidades litorâneas, como Salvador, com um forte meio corrosivo está associado à atmosfera salina característica desta região. De acordo com o ClimateData.org, Salvador possui um clima Tropical quente e úmido, com uma temperatura média de 25,6°C e uma precipitação anual de aproximadamente 1235 mm. A cidade recebe cerca de 3.095,51 horas de luz solar por ano, o que corresponde a uma média mensal de 101,81 horas. Além disso, apresenta um tempo de superfície úmida elevado, superior a 4.000 horas anuais, e ventos com uma velocidade média de 2,2 m/s. Essas

condições climáticas são desfavoráveis para materiais metálicos expostos a essa atmosfera. Dessa forma, torna-se imprescindível análises que compreendam meio salino, como a solução salina de NaCl simulando o salitre marinho, sendo o meio corrosivo analisados no presente estudo. Deste modo, visando investigar a efetividade das técnicas aplicadas, realizou-se ensaios de perda de massa, a fim de avaliar o efeito dos tratamentos superficiais no metal de base (aço SAE 1020) com relação ao aumento da sua resistência à corrosão.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **I. Preparação do corpo de prova.**

A montagem das amostras é feita por cortes de uma chapa de aço SAE 1020, padronizados em 2 x 2 cm<sup>2</sup>, seguido pela soldagem de um fio de cobre ao substrato. O fio de cobre terá a função de permitir a passagem de corrente elétrica ao aço, sendo fixado por soldagem de chumbo-estanho. A área soldada é, então, isolada com resina epóxi. Após a secagem da resina epóxi, é realizado o lixamento de granulometrias de 100 a 600.

### **II. Banhos eletrolíticos**

Tabela 01: Composição banho eletrolítico de Zn

Cloreto de zinco	$ZnCl_2$	0,10 mol/L
Cloreto de amônio	$NH_4Cl$	2,80 mol/L
Ácido bórico	$H_3BO_3$	0,32 mol/L

Tabela 02: Composição banho eletrolítico de Zn-Ni

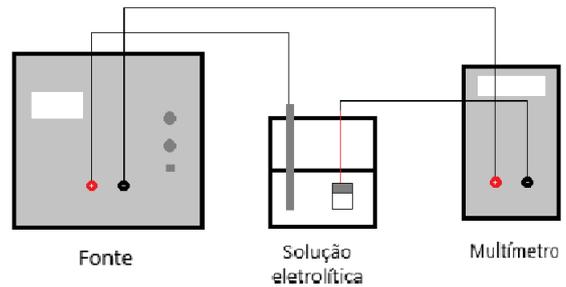
Cloreto de zinco	$ZnCl_2$	0,28 mol/L
Cloreto de amônio	$NH_4Cl$	2,80 mol/L
Ácido bórico	$H_3BO_3$	0,32 mol/L
Cloreto de Níquel	$NiCl_2$	0,21 mol/L

Tabela 03: Composição banho eletrolítico de Ni

Sulfato de níquel (II)	$NiSO_4$	52,6 g/L
Cloreto de níquel	$NiCl_2$	30 g/L
Ácido bórico	$H_3BO_3$	45 g/L

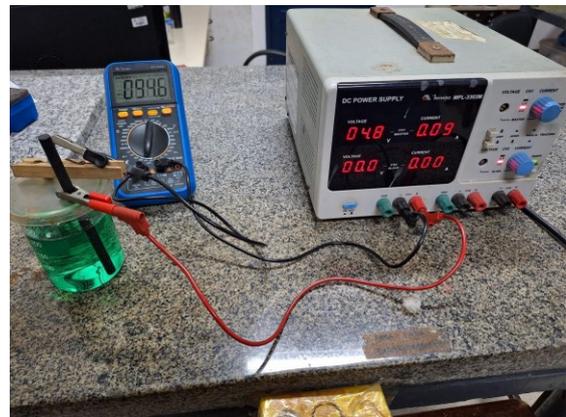
### III. Sistema.

Figura 1: Esquemática do sistema proposto para eletrodeposição.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2: Sistema real utilizado para eletrodeposição do banho de Ni.

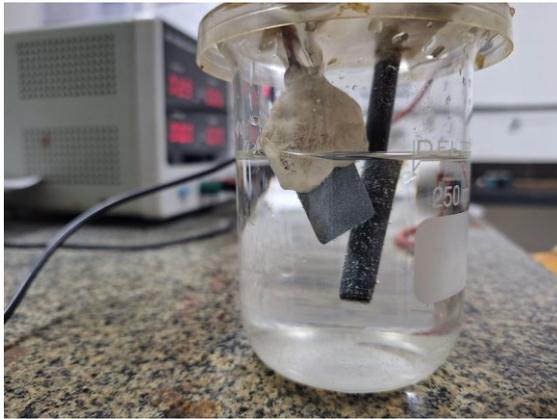


Fonte: Autoria própria.

O sistema proposto para eletrodeposição é formado por uma fonte para a passagem de corrente, um eletrodo de grafite, um bécker com a solução eletrolítica, o substrato metálico que receberá os depósitos e o eletrodo de grafite, além do multímetro, que será responsável pela leitura da corrente que irá passar até o substrato, como é ilustrado nas figuras 1 e 2.

### IV. Eletrodeposição.

Figura 3: Eletrodeposição do banho de Zn.

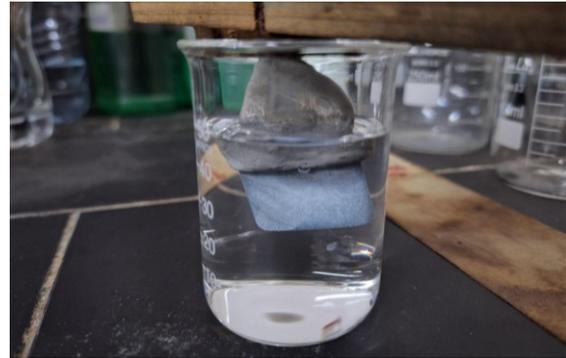


Fonte: Autoria própria.

A eletrodeposição consiste na imersão do substrato metálico à solução eletrolítica e o eletrodo inerte conectados à fonte, como é ilustrado na figura 3. A eletrodeposição é feita no tempo de 18 minutos e 30 segundos sob a passagem de corrente elétrica pela fonte. A voltagem que deverá ser fornecida pode ser calculada por  $i = \frac{L \times H \times 2 \times 10}{100}$ , em que L é a largura (mm), H é a altura (mm), 2 é o número de superfícies a serem depositadas e densidade de corrente elétrica ( $\frac{mA}{cm^2}$ ) utilizada, neste caso, 10mA.

#### V. Tratamento de Conversão Superficial.

Figura 4: Conversão em ácido oxálico de um substrato revestido com banho de Zn.



Fonte: Autoria própria.

O tratamento de conversão superficial consiste na imersão do substrato por 5 minutos na solução contendo o ácido oxálico, como é ilustrado na figura 4. A amostra foi imersa limpa. A conversão ocorreu em temperatura ambiente.

#### VI. Perda de massa.

A perda de massa consiste na imersão da amostra em solução que simula o ambiente corrosivo, e para tal, a parte onde continha o eletrodo soldado e a resina epóxi são cortados fora, O tempo analisado foi de 24 horas de imersão em NaCl, em que o substrato permaneceu estático e perpendicular à base do recipiente contendo o meio corrosivo.

#### VII. Tratamento de dados.

A taxa de corrosão das amostras foi calculada por

$$TC = \frac{K \cdot \Delta m}{A \cdot t \cdot \rho_A} \quad (\text{Equação 01})$$

E a perda de massa foi calculada por

$$PM = \frac{\Delta m}{A} \quad (\text{Equação 02})$$

Onde:

(TC) - Taxa de Corrosão ( $\frac{mm}{ano}$ )

(K) - Constante (87600 mm/ano)

( $\Delta m$ ) - Diferença entre as massas antes e após o meio corrosivo (g)

(A) - Área exposta ao meio corrosivo ( $cm^2$ )

(t) - Tempo exposto ao meio corrosivo (h)

( $\rho_A$ ) - Densidade do depósito ( $g/cm^3$ )

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 04: Cálculo de perda de massa e taxa de corrosão para as amostras revestidas com a solução eletrolítica de Zn com e sem tratamento de conversão em ácido oxálico.

Zn						
	Sem tratamento de conversão			Com tratamento de conversão		
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3
Área (cm <sup>2</sup> )	9,47	9,73	9,15	5,98	5,67	6,19
m1 (g)	1,1029	1,2304	1,0173	0,5534	0,8112	0,7844
m2 (g)	1,1013	1,2298	1,0163	0,5531	0,8108	0,7837
$\Delta m$	0,001600	0,000600	0,001000	0,000300	0,000400	0,000700
PM	0,001451	0,000488	0,000983	0,000050	0,000071	0,000113
TC	0,083678	0,030543	0,054172	0,024872	0,034962	0,056051

Tabela 05: Cálculo de perda de massa e taxa de corrosão para as amostras revestidas com a solução eletrolítica de Ni com e sem tratamento de conversão em ácido oxálico.

Ni						
	Sem tratamento de conversão			Com tratamento de conversão		
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3
Área (cm <sup>2</sup> )	2,55	2,59	1,98	2,86	2,98	3,01
m1 (g)	0,2444	0,2692	0,2128	0,3686	0,2987	0,3560
m2 (g)	0,2434	0,2680	0,2121	0,3678	0,2978	0,3551
$\Delta m$	0,001000	0,001200	0,000700	0,000800	0,000900	0,000900
PM	0,004092	0,004458	0,003289	0,002170	0,003013	0,002528
TC	0,145910	0,172339	0,131540	0,104075	0,112370	0,111250

Tabela 06: Cálculo de perda de massa e taxa de corrosão para as amostras revestidas com a solução eletrolítica de Zn-Ni com e sem tratamento de conversão em ácido oxálico.

Zn-Ni						
	Sem tratamento de conversão			Com tratamento de conversão		
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3
Área (cm <sup>2</sup> )	4,17	2,50	3,04	7,16	6,50	7,71
m1 (g)	0,5335	0,6982	0,4110	0,7039	0,6695	1,1227
m2 (g)	0,5316	0,6982	0,4094	0,7014	0,6664	1,12
$\Delta m$	0,001900	0,001000	0,001600	0,0025	0,0031	0,0027
PM	0,000456	0,000400	0,000526	0,000349	0,000477	0,000350
TC	0,228852	0,200908	0,264353	0,173046	0,236285	0,173398

Os resultados mostrados nas tabelas 4, 5 e 6 indicam as taxas de corrosão e as perdas de massa de amostras revestidas com zinco (Zn), níquel (Ni) e liga metálica de Zn-Ni, com e sem tratamento de conversão. Após a exposição à solução de NaCl 0,5 M. Ao analisar os valores apresentados na Tabela 04, é possível verificar uma variação entre 0,03 e 0,08 mm/ano para a taxa de conversão das amostras sem tratamento de conversão. A taxa de corrosão para a triplicata com tratamento de conversão variou entre 0,02 e 0,05 mm/ano. Portanto, o tratamento de conversão impactou de forma significativa na taxa de corrosão com o revestimento de Zn sob a imersão em NaCl 0,5 M.

Na Tabela 05, a taxa de corrosão para as amostras revestidas com Ni sem tratamento de conversão variou entre 0,13 e 0,17 mm/ano. Para as amostras com ácido oxálico, na Tabela 05, houve

uma variação de 0,10 e 0,11 mm/ano. Logo, é possível inferir que o tratamento posterior favoreceu a diminuição da taxa de corrosão na proteção complementar ao revestimento metálico de Ni.

Na Tabela 06, observa-se que a taxa de corrosão do Zn-Ni sem tratamento de conversão variou entre 0,20 e 0,26 mm/ano, enquanto que os resultados para a liga de Zn-Ni com tratamento de conversão houve uma variação na taxa de corrosão entre 0,17 e 0,23 mm/ano. Deste modo, o uso de ácido oxálico promoveu uma redução significativa na taxa de corrosão também para este revestimento.

Portanto, observa-se que o tratamento complementar de conversão em ácido oxálico gerou um favorecimento significativo nos revestimentos metálicos Zn, Zn-Ni e Ni para a atmosfera corrosiva de NaCl 0,5 M, sendo possível perceber menor taxa de

corrosão nas triplicatas revestidas com Zn tanto sem tratamento de conversão, quanto com o mesmo.

## CONCLUSÃO

Os métodos abordados neste estudo se demonstraram eficientes ao promover o aumento da resistência à corrosão do aço usado (SAE 1020) em ambas as ligas utilizadas (Zn, Zn-Ni e Ni), em conjunto com o tratamento de conversão superficial.

É uma técnica atrativa, pois possui baixo custo e fácil execução, tornando-se industrialmente viável.

A taxa de corrosão média das amostras revestidas em banho de Zn foi de 0,056131 e após o tratamento de conversão, aumentou a proteção em 31,18%.

Para as amostras revestidas com a liga de Zn-Ni, a taxa de corrosão média foi de 0,231371 e com o tratamento de conversão aumentou em 16,05%.

E por fim, para a proposta de revestimento com a liga de Ni, a taxa de corrosão média foi de 0,149930 e com o tratamento de conversão aumentou em 27,14%

Com isso, concluímos que os revestimentos metálicos propostos neste trabalho aumentam a resistência à corrosão do aço, e com o uso do

tratamento de conversão, gerador dos oxalatos superficiais, houve diminuição ainda maior da taxa de corrosão, demonstrando ser uma técnica promissora.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao financiamento da CNPq, ao Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química pelo suporte técnico (UFBA).

## REFERÊNCIAS

1. JESUS, Michele David de. Efeito do glicerol como aditivo para resistência à corrosão do revestimento de zinco obtido através de eletrodeposição. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.
2. SCHOFIELD, M. J. "Corrosion" British Corrosion Journal. Industrial. Corrosion Science and Technology, vol. 253 (2001).
3. LOPES, Carolina da Silva. Estudo da adição de ácido

- fórmico em banhos de eletrodeposição à base de Zinco. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.
4. MARTINS, D. F. “Estudo de Banhos Ácidos para Substituição de Banho Alcalino Cianídrico na Eletrodeposição de Zinco sobre Pregos”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2009.
  5. ISQ Brasil. Análise de falha mecânica. ISQ Brasil, 2023. Disponível em: <https://isqbrasil.com.br/analise-de-falha-mecanica/>. Acesso em: 12 set. 2024.
  6. LUNA, Saionara et al. Effect of Chemical Conversion Treatment with Oxalic Acid Solution in the Corrosion Resistance of Galvanized Steel in Soybean Biodiesel with Natural Additives. *Materials Research*, v. 26, e20220490, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2022-0490>. Acesso em: 12 set. 2024.
  7. GRISENTE, Javan et al. Development and Characterisation of Zinc Oxalate Conversion Coatings on Zinc. *Elsevier*, v. 137, 13-32, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.03.011>. Acesso em: 12 set. 2024.
  8. BORGES, A. M. C. et al. Electrodeposited Zn-Ni sisal nanocrystal composite coatings – Morphology, structure, and corrosion resistance. *FapUNIFESP (SciELO)*, v. 26, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2023-0164>. Acesso em: 12 set. 2024.
  9. CALLISTER, Jr. W. D., “Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução”. 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC, (2008)