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

Emprego de íons Zn (II) no Aprimoramento do Efeito Anticorrosivo de Promotores de Adesão à Base de Silanos

Antonio L.A. Macedo1, Lucas T. Antunes1, Ana Laura D.M.Campista3, Ladimir J. Carvalho3,Lilian F. Senna1
¹ LEC/IQ/UERJ; ² EQ/UFRJ

Introdução:

Inibidores inorgânicos, como Zn(II), atuam como agentes de reticulação na matriz de silano, interagindo com os grupos silanol e tornando a camada de siloxano mais compacta, aumentando a densidade de reticulação (*crosslinking*) do filme. A adição de inibidores de corrosão orgânicos "verdes" ao sol do silano tetraetilortossilicato (TEOS), juntamente com os íons metálicos, pode favorecer ainda mais a proteção anticorrosiva destes sistemas.

Objetivo:

Avaliar o efeito da adição de íons Zn(II) ao sol de TEOS e à matriz TEOS + LSU (liofilizado do resíduo do suco de uva) nas propriedades anticorrosivas desses sistemas, visando à sua aplicação em esquemas de pintura com resina epóxi expostos a meio salino.

Metodologia:



Fig. 1 – Diagrama de blocos das etapas desenvolvidas no trabalho



Fig. 2 - Etapas da preparação dos revestimentos de conversão por *dip coating* em sol-gel + tratamento térmico, e caracterizações realizadas

Resultados e Discussões:

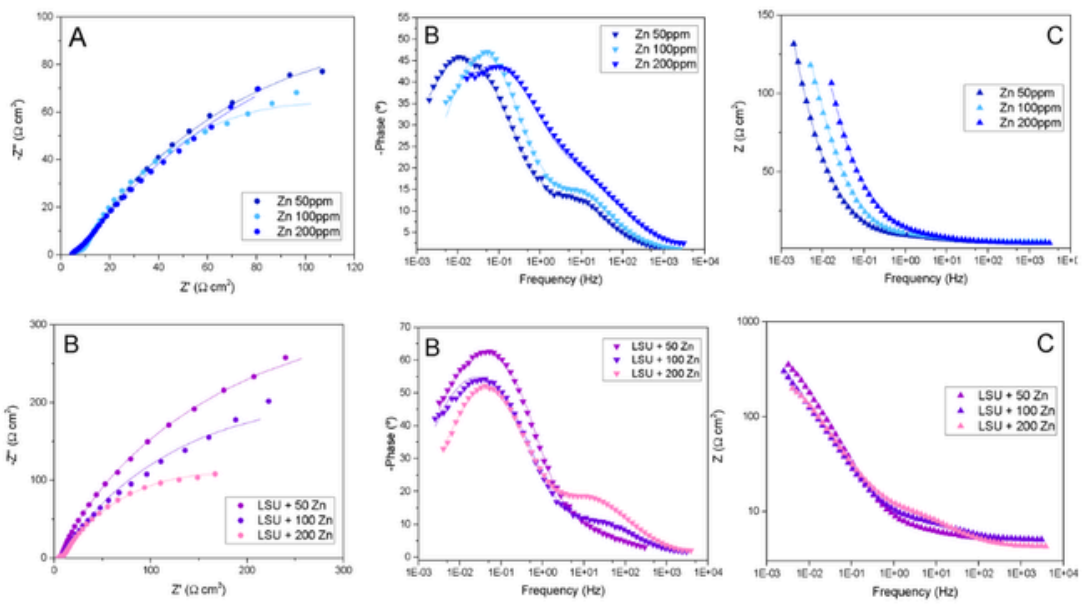


Fig. 3– Diagramas de Nyquist, Bode e Phase dos revestimentos de conversão de TEOS + Zn (A,B,C) e TEOS + LSU + Zn (D,E,F) sobre substrato de aço carbono lixado em solução de NaCl 3,5% m/v

Amostras	Rs (Ω)	Rct (Ω*cm²)	Cdl (F/cm²)	x²	Circuito
TEOS	5.77	460	2.466E-04	0.0177	[R(RQ)(RQ)]
LSU 200 ppm	6.44	1674	5.73E-04	0.0703	[R(RQ)(RQ)]
Zn 50 ppm	**5.10**	**2520**	**0.00033**	**0.0047**	**[R([R(RQ)]Q)]**
Zn 100 ppm	5.56	1235	0.00028	0.018996	[R([R(RQ)]Q)]
Zn 200 ppm	4.36	1823	0.00031	0.01049	[R([R(RQ)]Q)]
Zn 50 ppm + LSU	**4.8**	**4123**	**0.00074**	**0.013118**	**[R([R(RQ)]Q)]**
Zn 100 ppm + LSU	5.05	2894	0.00033	0.0228	[R([R(RQ)]Q)]
Zn 200 ppm + LSU	4.4	1333	0.00092	0.02901	[R([R(RQ)]Q)]

Tabela 1 - Resultado das simulações dos dados de EIE

Fig 4 – grafivos dos ensaios de polarização potenciodinâmica dos sistemas revestimento/substrato produzidos com diferentes concentrações de Zn(II), na ausência e presença de 200 ppm do inibidor "verde" LSU

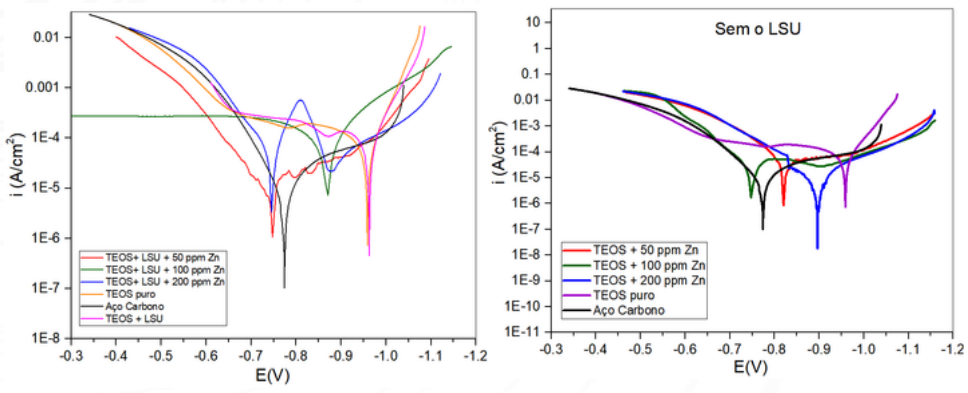


Tabela 2 – Resultado dos ensaios dede Resistencia á Polarização Linear (RPL)

Ensaios	Rp (kΩ cm2)	Erev	ΔE	Porosidade (%)
LSU Zn 50ppm	747	-0.782	0.037	2.26%
LSU Zn 100 ppm	659	-0.79	0.045	2.14%
LSU Zn 200 ppm	401	-0.788	0.043	3.69%
LSU 200 ppm	486	-0.737	0.008	6.70%
Zn 50 ppm	537	-0.812	0.067	1.60%
Zn 100 ppm	677	-0.795	0.05	1.86%

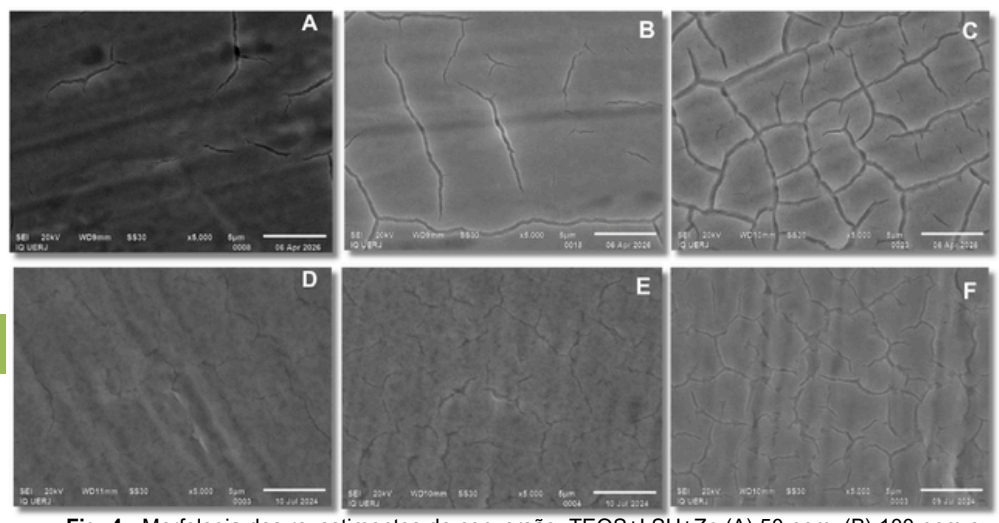
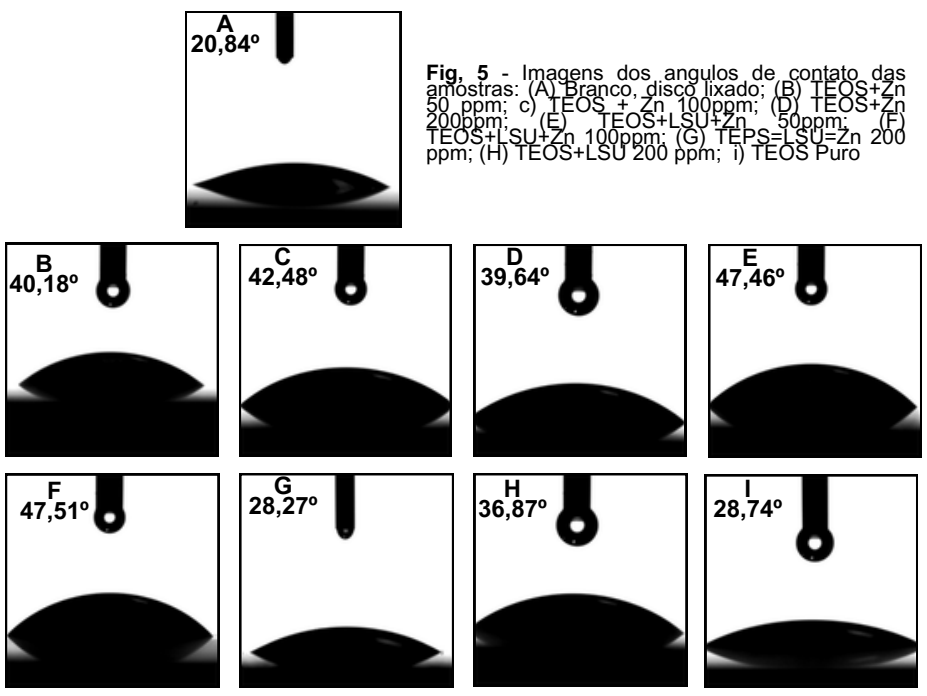


Fig. 4 - Morfologia dos revestimentos de conversão: TEOS+LSU+Zn (A) 50 ppm, (B) 100 ppm e (C) 200 ppm; e TEOS + Zn (D) 50 ppm, (E)100 ppm e (F) 200 ppm (Ampliação: 5000 x)



Fig, 5 - Imagens dos angulos de contato das amostras: (A) Branco, disco lixado; (B) TEOS+Zn 50 ppm; c) TEOS + Zn 100ppm; (D) TEOS+Zn 200ppm; (E) TEOS+LSU+Zn 50ppm; (F) TEOS+LSU+Zn 100ppm; (G) TEPS=LSU=Zn 200 ppm; (H) TEOS+LSU 200 ppm; i) TEOS Puro

Conclusão:

- A adição de 50 ppm de Zn nos sóis de TEOS, na ausência e na presença do inibidor LSU, resultou em aumento da proteção do substrato contra corrosão, em termos dos valores de resistência à transferência de carga, Rtc, (2480 Ωcm2 e 4107 Ωcm2, respectivamente)
- Concentrações elevadas de zinco (200 ppm) provocam irregularidades e falhas estruturais no filme. A adição de 200 ppm de LSU atenua esses defeitos, aumentando a uniformidade da superfície.
- As formulações com 50 ppm e 100 ppm de Zn^{2+} combinadas ao LSU apresentaram os maiores ângulos de contato (~47,5º), o que dificulta a permeação do eletrólito até o substrato metálico.
- As formulações com 50 ppm de Zn^{2+} (com e sem 200 ppm de LSU) foram selecionadas como as mais promissoras e já receberam o sistema de pintura para avaliação de durabilidade via Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) ao longo do tempo.

Referências e Agradecimentos:

1. BRAGA, A. V. C.; DO LAGO, D. C. B.; PIMENTA, A. R.; SENNA, L. F. The influence of heat treatment of inorganic conversion coatings produced by sol-gel dip coating on the anticorrosive properties of alumina films deposited on steel substrate – Part I: Single conversion coatings. Surface and Coatings Technology, v. 372, p. 190–200, 2019.
2. PEREIRA, C.M.S; SILVA, G.F.; DINIZ, M.G; SILVA, C.S.; BRAGA, A.V.C.; SENNA, L.F; Efeito da preparação do substrato e do revestimento de conversão na resistência à corrosão em solução Ringer de aço inoxidável 304L revestido com filme de alumina.
3. SILVA JUNIOR, J.C.S; LAGO, D.C.B; SENNA, L.F; Estudo da influência dos organossilanos TEOS e APS, associados ao inibidor orgânico AMT, na resistência à corrosão de aço carbono AISI 1020 em meio salino. Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2021.