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

Predição de curvas completas de polarização do aço duplex UNS S32205 em NaCl por aprendizado de máquina e validação agrupada

Santiago A. Soto Suárez[1] · Jaider E. Caldera Nadaff[1,3] · Oriana Palma Calabokis[1,2] · Yamid E. Núñez de la Rosa[1,2] · Admilson T. Franco[1] · Eduardo M. Germer[1]

[1] CERNN/SOFMAT, UTFPR, Curitiba-PR · [2] Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá · [3] Universidad de Sucre

Introdução

O aço duplex UNS S32205 é amplamente usado em meios com cloretos, onde a corrosão por pite limita sua vida útil. Por ser estocástica, exige réplicas, e o potencial de pite é influenciado pela velocidade de varredura (ensaiamos 0,1667, 0,5 e 1 mV/s), o que multiplica os ensaios e encarece a caracterização potenciodinâmica: uma varredura de 1,2 V a 0,1667 mV/s dura ~2,3 h. O aprendizado de máquina pode estimar condições não ensaiadas, mas os modelos atuais preveem valores isolados (Ecorr, Epit) e descartam a curva completa, como a corrente passiva e a ruptura da passividade.

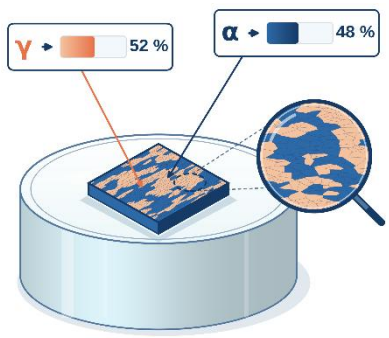
- **Lacunas:** curva completa nunca aplicada ao 2205; velocidade de varredura e temperatura fora das entradas; previsão de condições não medidas não avaliada.

Objetivos

Predecir a curva de polarização completa do aço duplex 2205 em NaCl a partir de concentração, velocidade de varredura e temperatura, e quantificar sua capacidade de generalização.

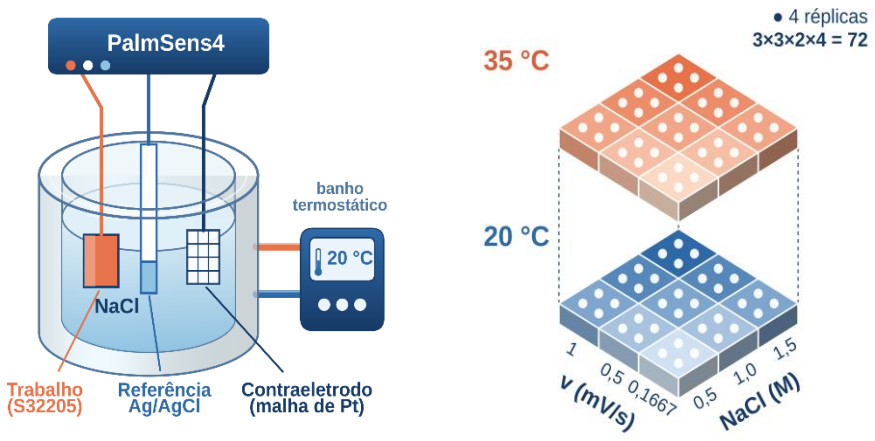
Metodologia

A · MATERIAL E ELETRODO



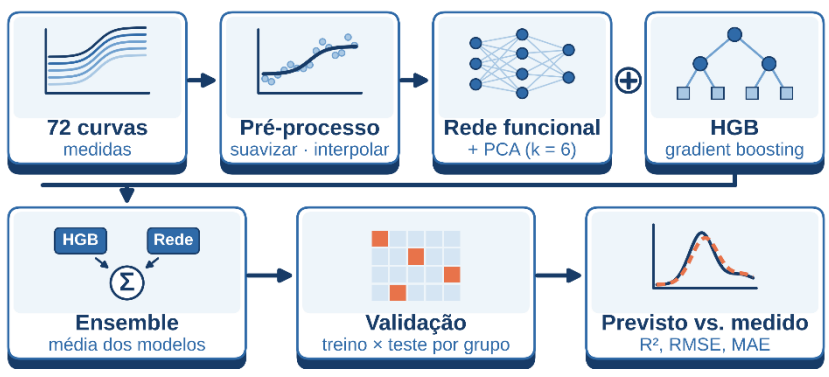
UNS S32205 laminado, 4 mm.
Cr 22,2 · Ni 5,7 · Mo 3,2 · Mn 1,2 % (m/m)
Eletrodo de 20 × 20 mm em resina epóxi, área de **4 cm²**; lixa SiC 220–600.

B · ENSAIOS E PROJETO FATORIAL



3 eletrodos: S32205, Ag/AgCl (3 M KCl) e malha de Pt; 500 mL de NaCl aerada. OCP 1200 s → OCP − 0,2 V (60 s) → varredura anódica até OCP + 1,2 V. **3 [NaCl] × 3 v × 2 T = 18 condições × 4 réplicas = 72 curvas.**

C · DADOS E MODELOS



Saída: $\log_{10}|j|$. Modelos: HGB e rede funcional (PCA, k = 6); ensemble por média.

Resultados e Discussão

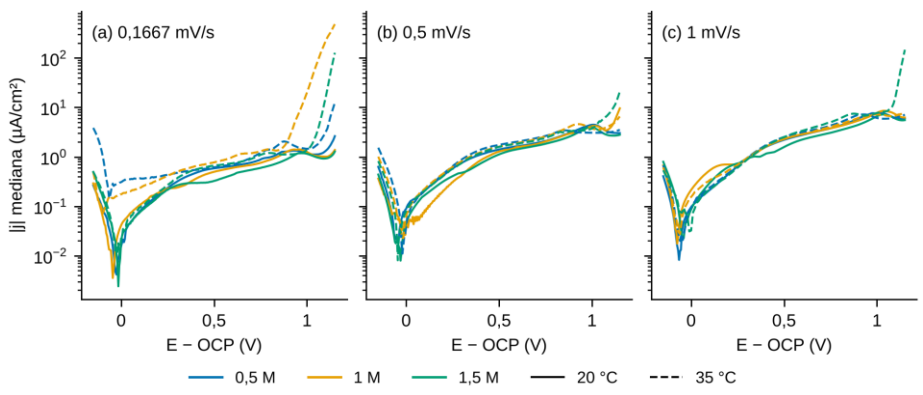


Fig. 1. Curvas medianas das 4 réplicas. A **velocidade de varredura** foi a variável que mais ordenou as curvas; a ruptura da pasividade ocorreu em 17 das 72 curvas.

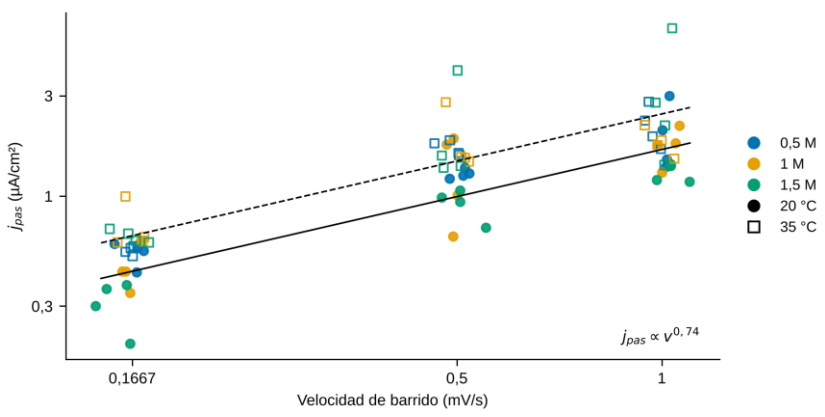


Fig. 2. $j_{pas} \propto v^{0,74}$ (R^2 = 0,78). A temperatura elevou j_{pas} em **48 %**; a concentração (0,5–1,5 M) não teve efeito detectável.

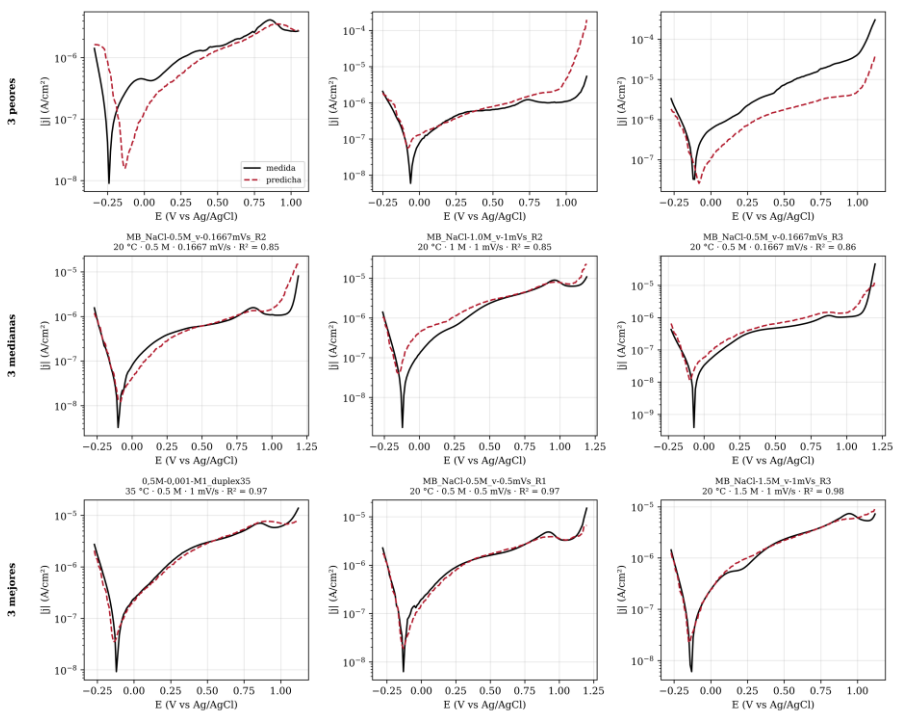


Fig. 3. Ensemble HGB + FNN: curvas medidas (preto) e preditas (vermelho) — 3 piores, 3 medianas e 3 melhores R^2 por curva.

Modelo	R^2	RMSE	MAE	Ecorr ident.	|ΔEcorr| (mV)
HGB	0,826	0,307	0,197	63,9 %	32,8
FNN	0,824	0,308	0,195	98,6 %	24,2
Ensemble	**0,834**	**0,299**	**0,190**	**97,2 %**	**27,3**

Conclusões

- O ensemble reproduziu as curvas de teste com R^2 = 0,834 e identificou o Ecorr em 97,2 % das curvas.
- A velocidade de varredura dominou a corrente passiva; a temperatura a elevou 48 %.
- Limites: dispersão entre réplicas (Ecorr) e ruptura em só 17/72 curvas.

Referências e Agradecimentos

• NÚÑEZ DE LA ROSA, Y. E. et al. Mater. Res., v. 25, e20220179, 2022.
• LIU, C. et al. Int. J. Electrochem. Sci., v. 13, p. 7432–7441, 2018.
• COELHO, L. B. et al. npj Mater. Degrad., v. 6, n. 8, 2022.

UTFPR · CERNN Rheology · INCT Rhe9 · Finep · CNPq · PETROBRAS