

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

**Avaliação anticorrosiva do aço inoxidável duplex SAF 2205 modificado com cobre**  
Úrsula C. Pereira<sup>1</sup>, Luiz B. dos Santos Filho<sup>2</sup>, Pedro de Lima Neto<sup>3</sup>, Alex M. do Nascimento<sup>4</sup>,  
Walney S. Araujo<sup>5</sup>

### **Abstract**

The duplex stainless steel is used in various industrial applications. This steel is characterized by the approximate proportions of austenite and ferrite in the microstructure. Some studies reported in the literature about the importance of copper in the corrosion resistance of duplex stainless steel. However, the effect of copper is still not well understood. Three samples were used for duplex stainless steel containing different amounts of copper. Electrochemical tests were used to evaluate the corrosion resistance of the samples. A solution of NaCl 0.5 mol / L was used as the working electrolyte. The sample with 3.10% copper was more resistant to corrosion.

**Keywords:** corrosion, copper, duplex stainless steel

### **Resumo**

O aço inoxidável duplex é utilizado em diversas aplicações industriais. Este aço é caracterizado pela presença de proporções aproximadas de austenita e ferrita na sua microestrutura. Alguns trabalhos apresentados na literatura relatam sobre a importância do cobre na resistência à corrosão do aço inoxidável duplex. Entretanto, a influência do cobre ainda não é muito bem compreendida. Foram utilizadas três amostras de aço duplex com diferentes quantidades de cobre. Testes eletroquímicos foram utilizados na avaliação da resistência à corrosão das amostras investigadas. Uma solução de NaCl 0,5 mol/L foi utilizada como eletrólito de trabalho. A amostra com 3,10 % de cobre apresentou maior resistência à corrosão.

**Palavras-chave:** corrosão, cobre, aço inoxidável duplex

### **Introdução**

Atualmente, os aços inoxidáveis duplex apresentam aplicações nas indústrias de papel e celulose, química, petroquímica, petrolífera, transporte e naval. Os ambientes severos de operação, encontrados muitas vezes nessas indústrias, criam grandes desafios no desenvolvimento de materiais mais resistentes à corrosão [1].

O aço inoxidável duplex é utilizado em diversas aplicações industriais [2-3] devido a sua ótima combinação de resistência à corrosão e propriedades mecânicas. Isto ocorre porque o aço inoxidável duplex caracteriza-se por ser uma liga bifásica, tendo como fases majoritárias ferrita e austenita. Tal microestrutura é alcançada graças à composição química da liga e processamento termo-mecânico os quais este material é submetido durante sua fabricação [4].

<sup>1-2</sup> Graduação - Estudante – Universidade Federal do Ceará

<sup>3-5</sup> Dr - Professor - Universidade Federal do Ceará

<sup>4</sup> Dr - Engenheiro - Universidade Federal do Ceará

Alguns pesquisadores avaliaram a influência do cobre na resistência à corrosão do aço inoxidável em meio ácido. Foi mostrado que a adição de cobre em aço ferrítico, martensítico ou duplex melhora a resistência à corrosão uniforme em ácido sulfúrico [5]. O cobre na composição química de um aço também favorece a resistência à corrosão por pite devido à redeposição do cobre previamente dissolvido [6]. Entretanto, Jeon et al [7] mostraram que a adição do cobre, devido à presença das áreas interfaciais entre as inclusões e a matrix diminuiu a resistência à formação de pites. No caso dos aços inoxidáveis dúplex, é necessário considerar a resistência à corrosão por pite das duas fases, haja vista que há diferença dos elementos de liga presentes na austenita e ferrita. Caso uma das fases apresente menor resistência à corrosão, esta determinará o comportamento do material [8]. De acordo com Vignal et al. [9] as informações quantitativas sobre as propriedades e comportamento eletroquímico de fases individuais de duplex de aço inoxidável são parâmetros úteis na compreensão e avaliação de seus mecanismos de corrosão.

Dentro desse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da adição do cobre na resistência à corrosão do aço inoxidável duplex SAF 2205 em meio neutro.

## Metodologia

Foram utilizadas três amostras do aço inoxidável duplex 2205: uma amostra com 3,10 % de cobre, uma amostra com 0,25 % de cobre e uma amostra sem cobre. Na tabela 1 é mostrada a composição química de cada amostra. Uma área de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> foi utilizada para os ensaios.

**Tabela 1: composição química das amostras investigadas**

	Fe	Cr	Cu	Ni	C	N	Mo	PRE*
am1	balanço	22.3	-	5.44	0.02	0.16	2.49	33,1
am2	balanço	22.2	0.29	5.59	0.02	0.18	3.08	35,2
am3	balanço	25.0	3.10	5.50	0.04	-	2.11	31,9

\* PRE → *Pitting resistance equivalent*

O material estudado foi embutido com resina epóxi e lixado até 600 mesh. Cada amostra foi mantida imersa no eletrólito de trabalho durante 30 minutos antes dos testes eletroquímicos, para obtenção do potencial estacionário.

Os ensaios eletroquímicos foram realizados em célula clássica de três eletrodos, sendo o eletrodo de trabalho a amostra investigada, o eletrodo de referencia: Ag/AgCl e uma placa de platina como o eletrodo auxiliar. O acompanhamento do processo de corrosão foi realizado por meio do monitoramento do potencial de circuito aberto (Eoc), espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE), curva de polarização potenciodinâmica e potenciostática. A corrosão dos aços foi avaliada em meio neutro contendo apenas 0,5 mol/L NaCl. Um potenciostato AUTOLAB 302N foi utilizado nas medidas eletroquímicas. Micrografias das amostras investigadas foram obtidas antes e após as curvas de polarização.

## Resultados e discussão

A figura 1 mostra o monitoramento do potencial de circuito aberto das amostras investigadas em solução de NaCl 0,5 mol/L. As curvas apresentaram o mesmo

comportamento qualitativo. Inicialmente, ocorreu um aumento do potencial, indicando a formação de um filme sobre a superfície do metal. Sabendo que o cobre por ser um elemento nobre, eleva o potencial para valores mais positivos, isto ficou coerente com os resultados.

Com relação às amostras 2 e 3, no início do monitoramento a amostra 3 apresentou maior potencial de corrosão, mas após 6000 s de monitoramento, as amostras 2 e 3 apresentam praticamente o mesmo potencial. Este resultado pode ser devido à formação de um filme insolúvel na superfície das amostras como foi relatado por Hermas et al [10].

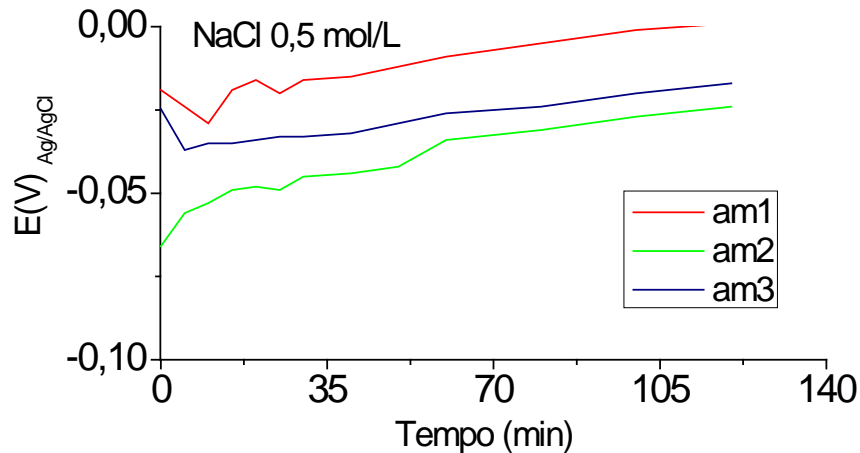


Figura 1 - Monitoramento do potencial de circuito aberto em NaCl 0,5 M.

A figura 2 mostra as curvas de polarização das amostras investigadas em NaCl 0,5 mol/L. Todas as curvas apresentaram um comportamento qualitativo bastante semelhante com uma larga faixa de passivação. As curvas das amostras 2 e 3 apresentaram os menores valores de densidade de corrente. Na tabela 2 são apresentados os parâmetros obtidos das curvas de polarização. Não houve diferença significativa nos valores do potencial de passivação ( $E_{pas}$ ) e potencial de pite ( $E_{pit}$ ), indicando que o cromo não afetou nos valores dos potenciais.

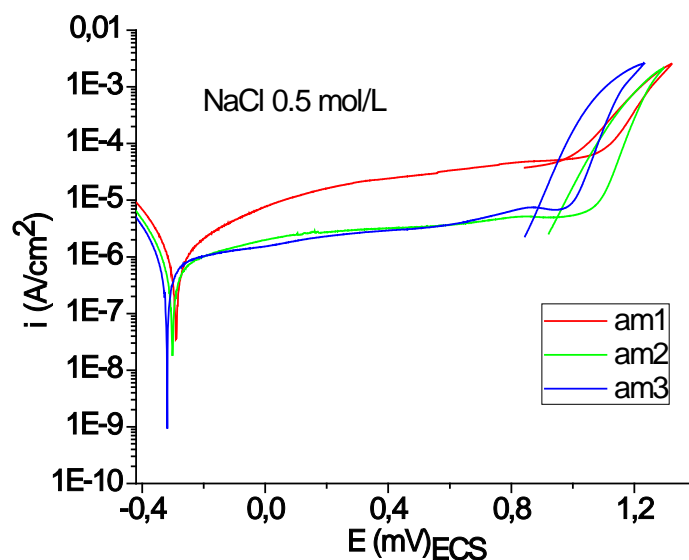
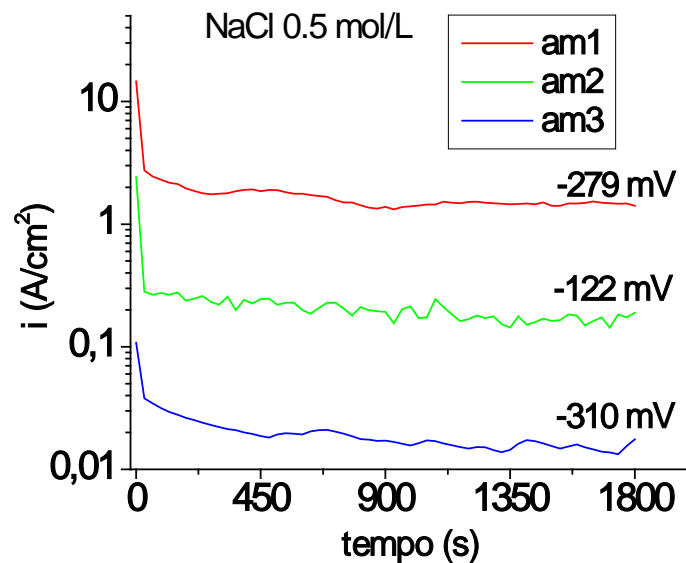


Figura 2 - Curvas de polarização das amostras investigadas em NaCl 0,5 mol/L

**Tabela 2 - parâmetros obtidos na curva de polarização.**

Amostras	$i_{pas}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	$E_{pas}$ (V)	$E_{pit}$ (V)
am1	0,440	-0,237	1,001
am2	0,240	-0,261	1,000
am3	0,190	-0,289	0,959

Com o objetivo de avaliar o comportamento das amostras na região após o potencial de corrosão, foi realizado curvas potencioestáticas das amostras investigadas em solução de NaCl 0,5 mol/L (vide Figura 3). O resultado apresentado na Figura 3 está coerente aos mostrados anteriormente, pois foi verificado que a amostra 3 teve o menor valor de densidade de corrente.

**Figura 3 - Polarização potencioestática das amostras investigadas. Eletrólito: NaCl 0,5 mol/L.**

Nas figuras 4 e 5 são apresentadas as micrografias realizadas antes e após o ensaio de polarização potencioestática. Na figura 4 foi realizada a quantificação das amostras. O resultado encontra-se na tabela 3. Pode ser observado que todas as amostras apresentaram uma relação muito aproximada, mostrando que não resultados não foram afetados pela balanceamento desigual das fases ferrita e austenita. Para revelação das fases foi utilizado o ataque de behara modificado, onde o mesmo ataca preferencialmente a ferrita. Foi verificado que a ferrita (região mais escura) está mais corroída, indicando a maior susceptibilidade da ferrita à corrosão.

**Tabela 3 – quantificação das amostras**

am1		am2		am3	
ferrita	austenita	ferrita	austenita	ferrita	austenita
49,15	50,85	50,92	49,08	49,74	50,26

Microscopia revelada após o ataque



Figura 4 - Microestrutura revelada por meio de imersão.



Figura 5 - Microestrutura revelada após polarização potencioestática.

Na figura 6 é mostrada os diagramas de impedância das amostras em NaCl 0,5 mol/L. Todos os diagramas apresentaram somente um arco capacitivo. A amostra 3 apresentou o maior valor de resistência à polarização. Os valores de resistência à polarização foram obtidos pela extrapolação do arco capacitivo e estão destacadas na figura 7.

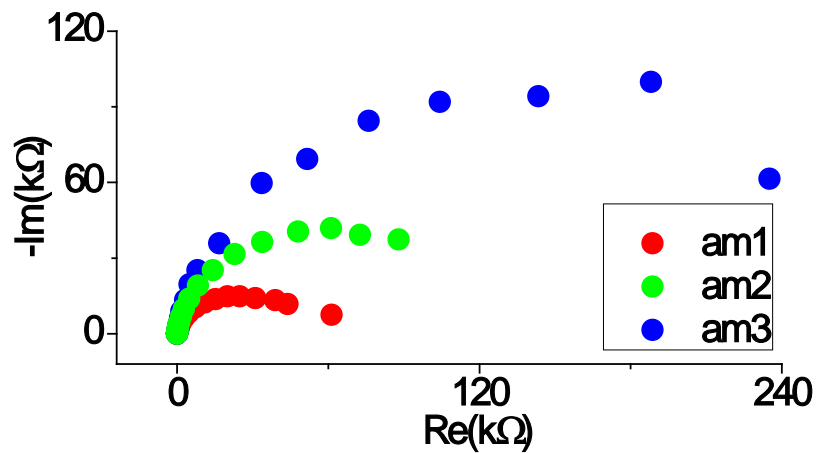


Figura 6 - Diagrama de impedância das amostras investigadas em NaCl 0,5 mol/L

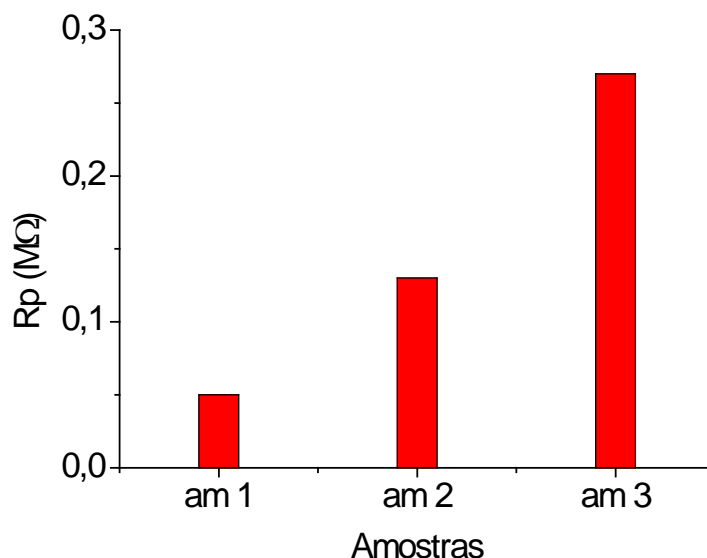


Figura 7 - Resistência a polarização obtidas do diagrama de impedância.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Caracterização de Materiais (LACAM) pela realização da caracterização superficial e ao suporte financeiro da PETROBRÁS, FUNCAP, CNPq e CAPES.

### Conclusões

Conforme foi mostrado nos gráficos, a amostra com 3,10% de cobre apresentou a maior resistência à corrosão. Este resultado foi corroborado com as micrografias obtidas após os ensaios de polarização. Vale ressaltar, que houve pouca diferença no aspecto visual das amostras com 0,25% e 3,10% de cobre. O comportamento das amostras investigadas provavelmente ocorreu devido à deposição de Cu na superfície metálica.

### Referências bibliográficas

- [1] GUNN, R.N., Duplex Stainless Steels- Microstructure, Properties and Applications, Abington Publishing, Cambridge, England, 1997, p.6.
- [2] CHAVES, R., COSTA, I., DE MELO, H. G., WOLYNEC, S., “ Evaluation of selective corrosion in UNS S31803 duplex stainless steel with electrochemical impedance spectroscopy”, *Electrochimica Acta*, 51, 1842-1846, 2000.
- [3] NASCIMENTO, A. M., “Mudanças microestruturais e resistência à corrosão de aços inoxidáveis duplex após tratamentos superficiais por refusão a laser”, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, SP, 2005.
- [4] MENEZES J. W. A., “Análise quantitativa da fase ferrítica do aço inoxidável duplex UNS S31803 na condição soldada”, Dissertação de Mestrado, UFC, Fortaleza, CE, 2005.
- [5] JIANGNAN, Y., LICHANG., W, WENHAO, S., “The effect of copper on the anodic dissolution behaviour of austenitic stainless steel in acidic chloride solution”, *Corrosion Science*, 33, 851-859, 1992.

- [6] DENG, B., JIANG, Y., GONG, J., ZHONG, C., GAO, J., LI, J., “Critical pitting and repassivation temperatures for duplex stainless steel in chloride solutions”, *Electrochimica Acta*, 53, 5220-5525, 2008.
- [7] JEON, S-H., KIM S-T., LEE I-S., PARK J-H., KIM K-T, KIM J-S., PARK Y-S., “Effects of copper addition on the formation of inclusions and the resistance to pitting corrosion oh high performance duplex stainless steels”, *Corrosion Science*, 53, 1408-1416, 2011.
- [8] SENATORE, M., FINZETTO, L., PEREA, E., “Estudo comparativo entre os aços inoxidáveis duplex e os aços inoxidáveis 304L/316L”, *Revista Escola de Minas*, vol. 60, n° 1,
- [9] Vignal V., Mary N., Ponthiaux P., Wenger F., “Influence of friction on the local mechanical and electrochemical behaviour of duplex stainless steels”, *Wear* 261 (9) (2006) 947–953.
- [10] HERMAS, A. A., OGURA, K., YAKAGI, S., ADACHI, T., “Effects of Alloying Additions on Corrosion and Passivation Behaviors of Type 304 Stainless Steel”, *Corrosion*, 51, 3-10, 1995.