



II CONPESQ
**Congresso de Pesquisa,
Pós-Graduação e Inovação**

Os novos rumos da ciência pós-pandemia

12 a 16 de abril de 2021 Universidade Federal do Cariri - UFCA

**EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE ÍONS CLORETOS NA
RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS
SUPERDUPLEX ASTM A890/890M GRAU 5A E 6A**

Ana Larissa Soares Cruz¹

Centro de Ciência e Tecnologia,
Universidade Federal do Cariri, larissasoaresd12@gmail.com

Francisco Yago Vieira Arrais²

Centro de Ciência e Tecnologia,
Universidade Federal do Cariri, yago.vieira@hotmail.com

Hillane Mirelle Lopes Ferreira de Lima³

Centro de Ciência e Tecnologia,
Universidade Federal do Cariri, hillane.lima@ufca.edu.br

Walney Silva Araújo⁴

Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais,
Universidade Federal do Ceará, wsa@ufc.br

-
- 1 Bolsista do PIBIC/UFCA no Edital N.º 01/2020/PRPI – Chamada PIICT/CNPq, FUNCAP e UFCA.
 - 2 Discente do Centro de Ciência e Tecnologia – CCT/UFCA.
 - 3 Orientadora, Docente do Centro de Ciência e Tecnologia – CCT/UFCA.
 - 4 Docente do Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais – DEMET/UFCA

RESUMO: Os aços inoxidáveis superduplex (AISD) 6A e 5A são ligas que apresentam um ótimo desempenho em condição de meio agressivo rico em cloretos e elevada sollicitação mecânica. Suas características são bem aproveitadas em setores industriais como o petroquímico, especialmente em plataformas *offshore*. Apesar de serem indicados para aplicações que demandam elevada resistência a corrosão por pite, os AISD podem ter tal propriedade afetada. Em concentrações mais elevadas de cloreto, sua camada passiva, a principal responsável pela elevada resistência à corrosão dessas ligas, torna-se mais instável. Os AISD em estudo são fundidos segundo norma ASTM A890/890M, e se diferem principalmente quanto à composição química, o aço 6A contém W (0,70%) e Cu (0,99%), elementos estes, ausentes no 5A. Busca-se, investigar a resistência a corrosão das ligas 5A e 6A na condição solubilizada para distintas concentrações de íons cloretos. As amostras foram caracterizadas microestruturalmente e avaliadas eletroquimicamente pela monitoração do potencial de circuito aberto e polarização potenciodinâmica nas concentrações de 20.000ppm, 40.000ppm, 60.000ppm e 80.000ppm de NaCl. Os resultados mostraram que a resistência à corrosão de ambas as ligas é prejudicada com o aumento da concentração de íons cloretos no meio estudado, sendo que o aço 6A apresentou um comportamento eletroquímico superior ao aço 5A, o que foi atribuído a presença de cobre e tungstênio nessa liga.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão por Pite, Camada Passiva, Cobre

ABSTRACT: Super Duplex stainless steels (SDSS) 6A and 5A are alloys that present an excellent performance in conditions of aggressive medium rich in chlorides and high mechanical stress. Its characteristics are well used in the industrial sectors such as petrochemical sector, especially on offshore platforms. Despite being indicated for applications that require high resistance to pitting corrosion, AISD can have such an affected property. At higher concentrations of chloride, its passive layer, which is mainly responsible for the high corrosion resistance of these alloys, becomes more unstable. The AISD under study are cast according to ASTM A890 / 890M, and differ mainly in terms of chemical composition, steel 6A contains W (0.70%) and Cu (0.99%), elements that are absent in 5A. The aim is to investigate the corrosion resistance of alloys 5A and 6A in the solubilized condition for different concentrations of chloride ions. The samples were characterized microstructurally and evaluated electrochemically by monitoring the open circuit potential and potentiodynamic polarization at concentrations of 20,000ppm, 40,000ppm, 60,000ppm and 80,000ppm of NaCl. The results showed that the corrosion resistance of both alloys is impaired with the increase in the concentration of chloride ions in the studied medium, with 6A steel showing an electrochemical behavior superior to 5A steel, which was attributed to the presence of copper and tungsten in this turns on.

Keywords: Pitting corrosion; Passive Film; Copper.

1 INTRODUÇÃO

Setores industriais como o energético, naval, petroquímico, nuclear e plataformas *on* e *offshore*, possuem suas atividades principais centradas em ambientes com condições extremas de temperatura, concentração e tensão, necessitando de materiais com elevada resistência à corrosão e mecânica. Nacionalmente, a categoria de materiais que melhor responde as necessidades desses setores são os Aços Inoxidáveis Super Duplex (AISD), aços de estrutura bifásica composta pelas fases austenita e ferrita em proporções semelhantes, apresentando valores superiores a 40 para o índice equivalente de resistência a corrosão por pite (MARTINS, 2006; PARDAL, 2009).

As propriedades dos aços inoxidáveis superduplex estão intimamente ligadas às suas composições químicas, em especial as maiores adições de molibdênio, nitrogênio e cromo (COSTA E SILVA; MEI, 2010). A adição deste último permite uma característica essencial

desses materiais: a capacidade de passivação. Segundo GENTIL (2011), a passivação é a formação de uma película protetora de óxido na superfície de um metal, resultante de um conjunto de reações entre material e meio, que é capaz de isolá-lo de um ambiente agressivo, protegendo-o contra possíveis processos corrosivos. No entanto, na presença de íons cloretos essa película tende a tornar-se menos protetora, o que é agravado com a elevação da concentração destes íons. Esse comportamento ocorre em função da facilidade com que os íons cloretos têm em penetrar e destruir o filme passivo, dado seu raio iônico pequeno. O rompimento da película gera uma diferença de potencial na superfície, o que contribui para a ocorrência de corrosão localizada do tipo pite. É tida como o tipo de corrosão mais perigosa, haja vista seu difícil monitoramento, uma vez que a perda de espessura não caracteriza esse desgaste, sendo na realidade marcada pela formação de cavidades de pequena extensão e razoável profundidade (PARDAL, 2009; GENTIL 2011).

Estudar as condições que propiciam esses materiais a vir sofrerem corrosão por pite ajuda a evitar futuras situações de perdas históricas, econômicas, humanas e especialmente ambientais. Segundo um estudo realizado pela empresa norte-americana CCTechnologies, 1% a 5% do Produto Interno Bruto (PIB) dos países são usados para gastos relacionados à corrosão. No Brasil um estudo realizado pela USP e a International Zinc Association (IZA), demonstrou que a perda por corrosão no Brasil gira em torno de 4% do PIB, o que representou para o ano de 2016, com PIB de R\$ 6,267 trilhões, um valor de R\$ 250 bilhões. A Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) em 2011 estimou que adotando práticas adequadas ao controle de corrosão, o Brasil conseguiria economizar 1% do seu PIB (SANTOS, 2018). Esse valor de economia tende a crescer quando melhor se compreende as dinâmicas dos processos corrosivos e as condições em que eles podem ser favorecidos.

O objetivo do presente trabalho é estudar o efeito da concentração de íons cloretos no comportamento eletroquímico das ligas 5A e 6A. Para isso, utilizou-se as técnicas de monitoramento do potencial de circuito aberto e polarização potenciodinâmica linear em meios contendo diferentes concentrações de NaCl. A caracterização microestrutural de ambos os materiais foi realizada por microscopia ótica.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram usados os AISD ASTM A890/A 890/M grau 5A e 6A fornecidos pela *Sulzer* de composição química expressa na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química dos AISD grau 5A e 6A

AISD	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Si	%Mo	%Cu	%W	%N	%Fe
5A	0,028	25,51	7,84	0,96	0,75	4,25	-	-	0,229	Bal.
6A	0,029	26,11	8,23	0,72	0,88	3,63	0,99	0,70	0,221	Bal.

Fonte: Fabricante *Sulzer*.

As amostras foram cortadas com disco abrasivo e solubilizadas em forno mufla a 1200°C por 1 hora, sendo resfriadas em água para dissolução de possíveis fases secundárias. Para a construção dos eletrodos de trabalho as amostras tiveram acopladas a si um fio de cobre, sendo posteriormente embutidas em resina Epóxi com molde de cano PVC uma polegada

Antes da realização dos ensaios eletroquímicos as amostras passaram por lixamento utilizando lixas d'água, com granulometrias de 220, 320, 400 e 600 mesh. Suas áreas de ensaio foram delimitadas por meio de esmalte transparente, buscando isolar a interface metal/resina e evitar corrosão por fresta. A área exposta em solução foi cerca de 1cm^2 . O sistema utilizado para ambos os ensaios foi composto por um béquer de 250 ml com a solução de estudo, contra eletrodo (CE) de platina, eletrodo de referência (ER) prata/cloreto de prata ($\text{Ag}|\text{AgCl}|\text{KCl sat.}$) e a amostra analisada como eletrodo de trabalho (ET).

Para avaliação da influência de concentração de íons cloretos na resistência à corrosão dos aços 5A e 6A, amostras desses AISD na condição solubilizada passaram por ensaios de monitoração de Potencial de Circuito de Aberto (PCA) e polarização em concentrações de 20.000 (20g/1L), 40.000 (40g/1L), 60.000 (60g/1L) e 80.000ppm (80g/1L) de NaCl. Os testes de polarização linear tiveram como parâmetros uma velocidade de varredura de 1 mVs-1 com aplicação de sobrepotenciais crescentes a partir do valor PCA até atingir o valor de 1mA para corrente. Anteriormente a cada medida, foi realizado o monitoramento do PCA por 3600 segundos. Os testes citados foram realizados na Universidade Federal do Cariri (UFCA) em um potenciostato/galvanostato da marca Autolab, modelo PGSTAT101 com suporte do software NOVA®.

A caracterização microestrutural foi realizada nas amostras 5A e 6A em condição solubilizada. As peças foram lixadas como supracitado, e sequencialmente polidas com pasta de diamantes de diâmetros: 6 μm , 3 μm , 1 μm por uma politriz marca Arotec. A fim de revelar as fases presentes, as peças foram atacadas quimicamente com o reagente Behara (80mL de água destilada, 20 mL de HCl e 1 g de metabissulfito de potássio). Após o ataque, foram lavadas com água destilada e álcool, e secas com jato de ar quente. Ao final foram feitas micrografias com o aumento de 50x, 100x, 200x e 500x, por meio do microscópio óptico da marca Leica modelo DMI 3000 M. As fases foram verificadas por contraste de cor, e a quantificação pelo aplicativo de imagens ImageJ. Etapa integralmente realizada na Universidade Federal do Ceará, no Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LPC).

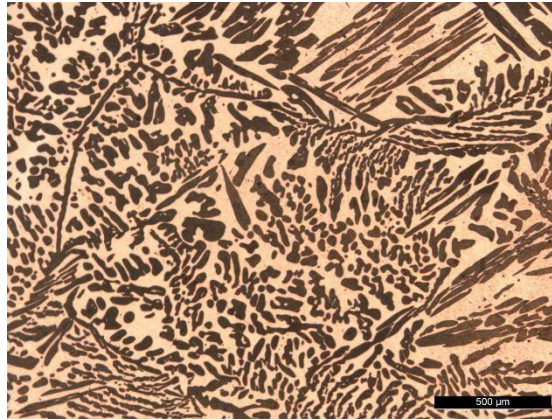
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

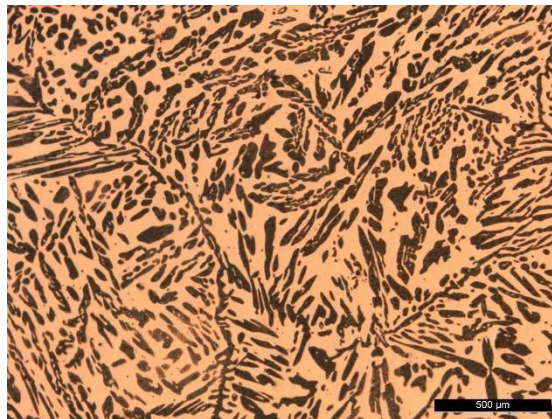
Essa etapa tem por finalidade quantificar a fração volumétrica das fases α e γ , bem como observar a morfologia e distribuição dessas fases para as diferentes ligas em estudo na condição solubilizada. A partir da Figura 1 ((A) e (B)) é possível verificar para ambos

materiais uma microestrutura típica dos aços duplex: matriz ferrítica (coloração mais clara) com lamelas de austenita (tom mais escuro). Não são observados a presença de outros precipitados em ambos os aços.

Figura 1 - Microestrutura dos AISD ASTM A890/ A890M graus (A) 5A e (B) 6A em condição solubilizada



(A)



(B)

Fonte: Própria.

A quantificação do balanço das fases ferrita e austenita foi feita a partir das imagens obtidas por Microscopia Óptica (MO) dos materiais. Foram utilizadas seis fotos em diferentes regiões para aumentos de 100x e 200x. As imagens foram tratadas e analisadas utilizando o aplicativo ImageJ, que quantifica as fases a partir de diferença de coloração. O resultado da quantificação das frações volumétricas é exibido na tabela 2.

Tabela 2 – Frações volumétricas de austenita e ferrita presentes nos aços 5A e 6A

<i>Material</i>	<i>% Austenita (γ)</i>	<i>% Ferrita (α)</i>
5A	47%	53%
6A	44%	56%

Fonte: Própria.

Os valores encontrados apresentam-se coerentes com a literatura. Segundo Martins (2006), os AISD têm como característica microestruturas bifásicas compostas por uma matriz ferrítica e ilhas austeníticas. A concentração volumétrica de ferrita deve aproximar-se de $50\% \pm 5\%$ para um material adequadamente balanceado do ponto de vista microestrutural.

3.2 POTENCIAL DE CIRCUITO ABERTO (PCA) E CURVAS DE POLARIZAÇÃO POTENCIODINÂMICA LINEAR

Os ensaios de polarização apresentados na Figura 3 permitem comparar o comportamento das ligas em diferentes concentrações de NaCl. Todas as curvas apresentam uma extensa área de passivação e nenhum ruído significativo, o que está diretamente associado à condição solubilizada. Por não conter precipitados, possui uma película protetora mais estável, uma vez que a precipitação de fases como a indesejada fase sigma rica em Cr, resulta em regiões adjacentes à sua precipitação pobres em alguns elementos importantes para a passivação (GIRÃO, 2015; CAVALCANTI, 2017). Essa diferença acentuada de composição química, causada por fases deletérias, em regiões do material oferece uma película passiva com características distintas, afetando seu grau de proteção.

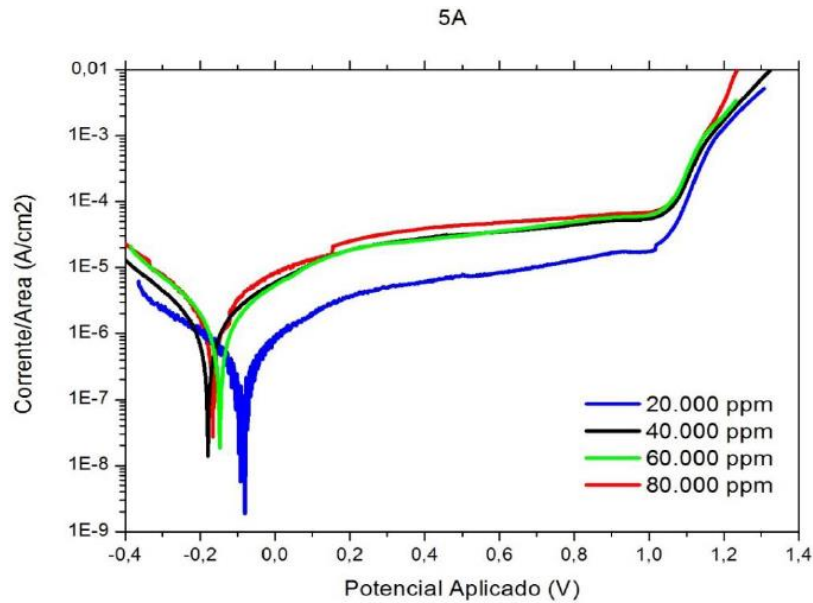
As curvas de ambos os aços mostram uma elevação abrupta de corrente em potenciais próximos a 1,0 V, entendida como o início da dissolução da camada passiva. A elevação dessa corrente em potenciais elevados, como o observado, é associada à evolução de oxigênio na superfície do material, fenômeno esse que gera bolhas de oxigênio na interface metal/filme passivo facilitando a quebra do filme e a conseqüente nucleação de pites, o que é verificado pelo aumento da densidade de corrente observado no gráfico. e, o que facilita (MAGNABOSCO; ALONSO-FALLEIROS, 2005).

As curvas de polarização do aço 5A (Figura 3 (A)) exibem uma variação expressiva na região passiva para as diferentes concentrações de NaCl estudadas. Na concentração de 20.000ppm, de NaCl, as amostras dessa liga apresentam um valor de densidade de corrente na região de passivação próximo de $5,5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, valor que é quadruplicado com o aumento da concentração de cloreto do meio para 40.000ppm. As curvas das amostras desse aço em 40.000 e 60.000ppm de NaCl são quase sobrepostas, apresentando valores de corrente sem grandes variações, o que não pôde ser visto para a concentração de 80.000ppm, que alcançou uma densidade de $45,8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Os altos valores observados para estas três últimas soluções não são compatíveis com a passivação de aços inoxidáveis. Indicando uma camada passiva não protetora.

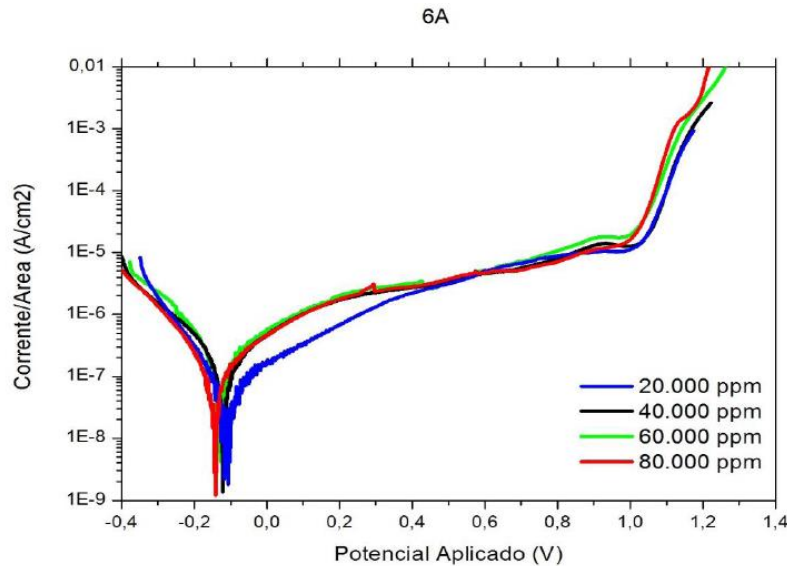
Para o aço 6A, as curvas das amostras nos diferentes meios apresentaram um comportamento semelhante na região passiva, o que indica um comportamento estável da

película passiva mesmo frente a distintas concentrações de cloreto, diferentemente do comportamento observado no aço 5A.

Figura 3 - Efeito das diferentes concentrações de NaCl para a curva de polarização das amostras de aço 5A (A) e 6A (B)



(A)



(B)

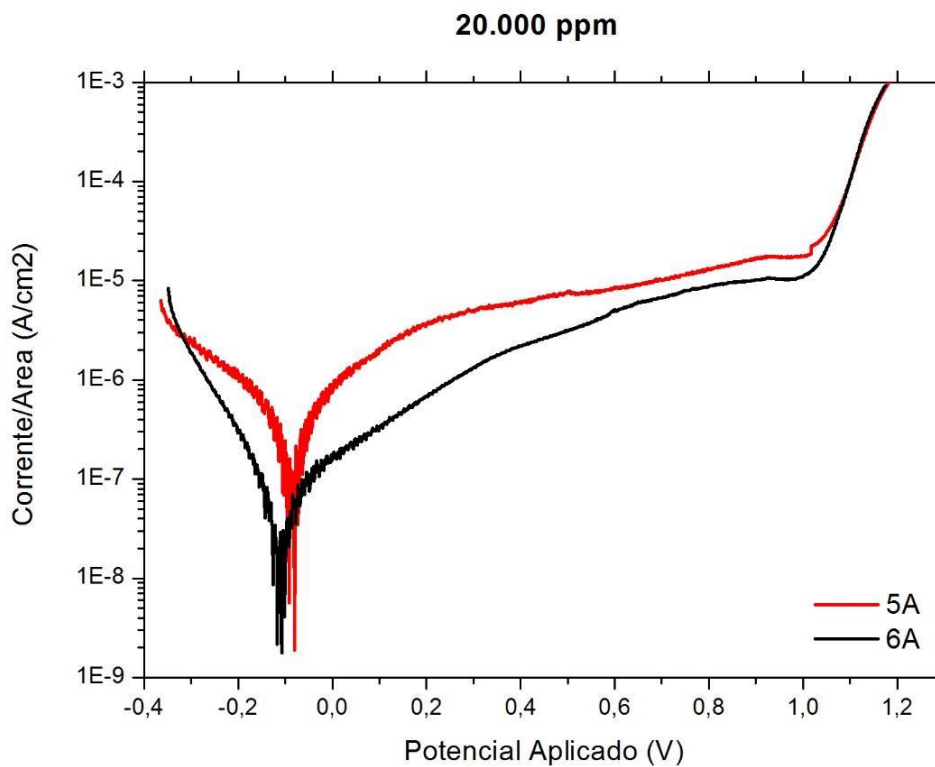
Fonte: Própria.

Os valores de densidade de corrente passiva para a liga 5A apresenta uma relação diretamente proporcional entre concentração e densidade de corrente, variando de 19,6 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ a 20.000ppm até 91,5 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ a 80.000ppm. Para a liga 6A a relação é menos evidente, confirmando a estabilidade da película protetora ainda que para concentrações

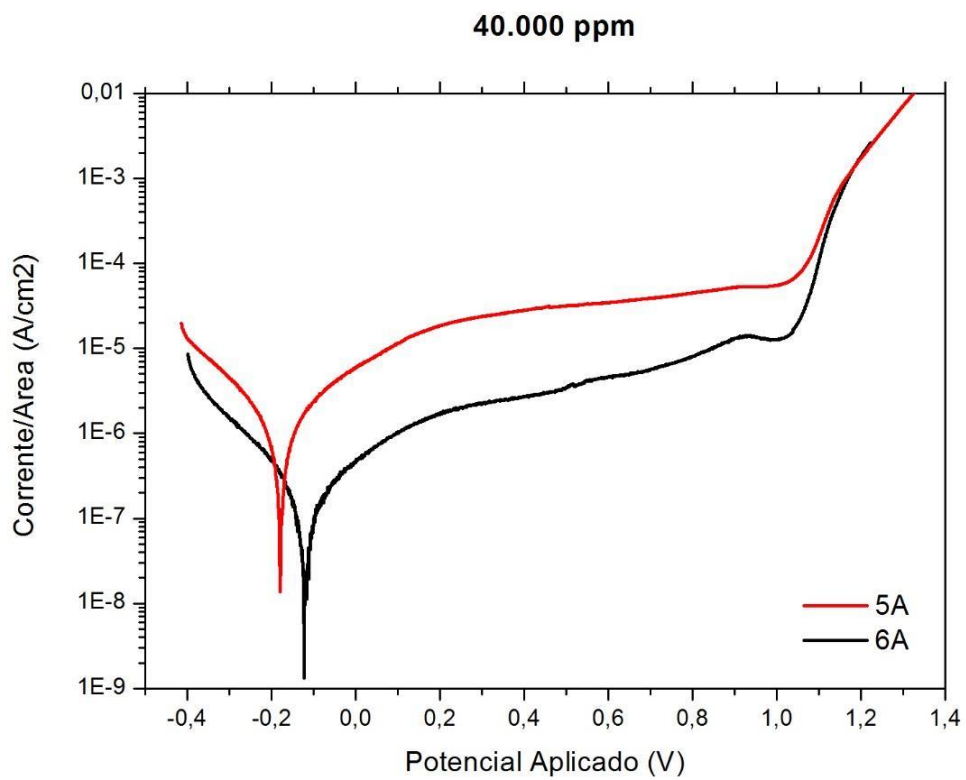
elevadas. Maia (2017) trabalhando com os mesmos aços em concentração de 20 g/mL, 50 g/mL e 80 g/mL nas temperaturas de 25°C e 55°C, também verificou que embora o potencial de dissolução da camada passiva não varie muito entre os aços e as concentrações, a susceptibilidade ao pite aumentou em função do aumento da concentração dos íons cloretos.

A Figura 4 compara o comportamento dos materiais 5A e 6A frente às mesmas condições de concentração.

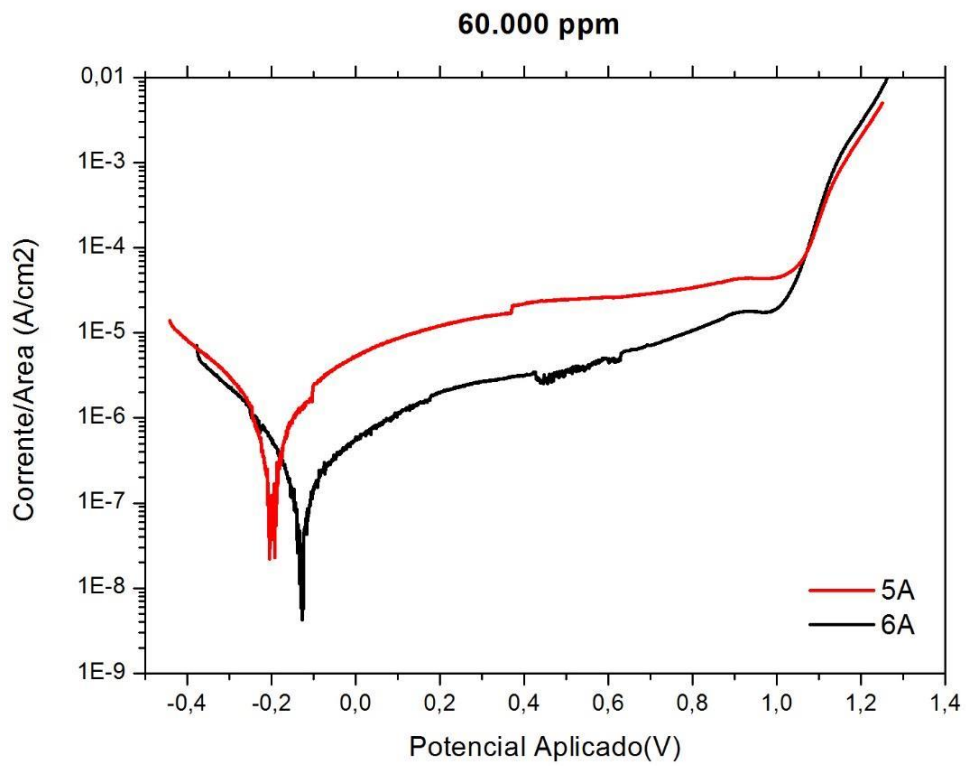
Figura 4 - Comparação das curvas de polarização dos aços 5A e 6A nas concentrações de 20.00ppm (A), 40.000ppm (B), 60.000ppm (C) e 80.000ppm (D) de NaCl



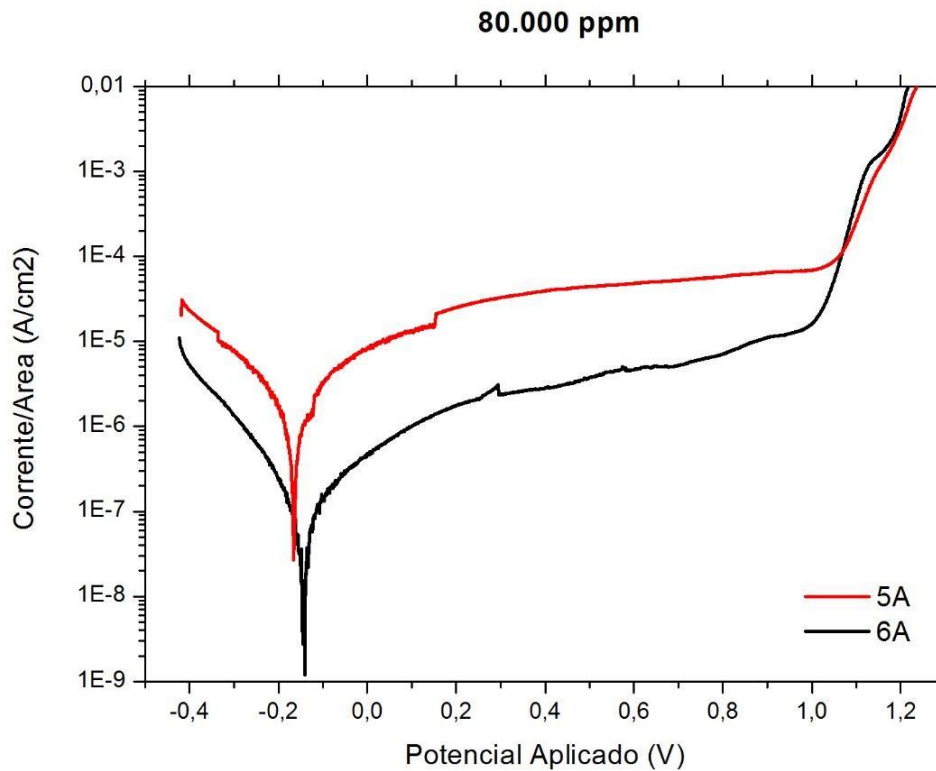
(A)



(B)



(C)

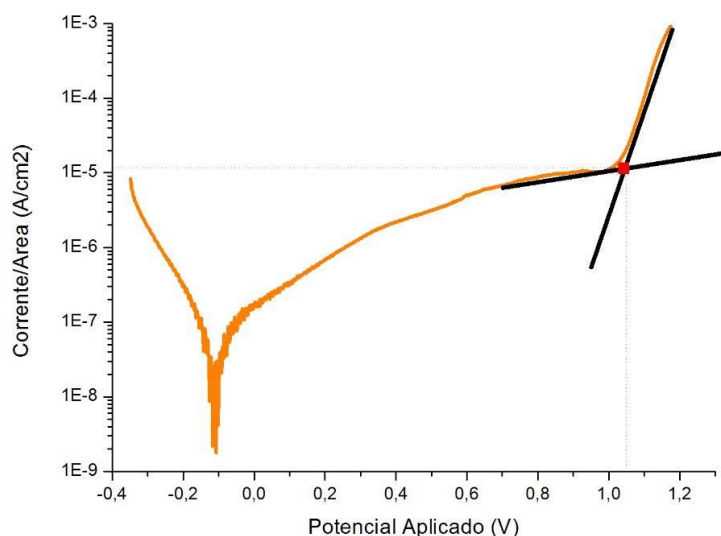


Fonte: Própria.

A partir das curvas é possível observar que o aço 6A apresenta um comportamento mais nobre que o aço 5A em todos os meios investigados, possuindo potencial de corrosão E_{Corr} superior nas concentrações 40.000 ppm, 60.000 ppm e 80.000 ppm de NaCl. O potencial de Corrosão é dado como a intersecção da região anódica e catódica na curva, indicando a capacidade de atividade eletroquímica da superfície do material em ensaio. Ainda para o 6A, suas curvas exibem a menor densidade de corrente para região passiva em todas as concentrações. Essas observações reforçam as discussões anteriores, indicando a maior estabilidade da película passiva do aço 6A e uma maior capacidade de proteção como consequência. O comportamento superior desse material é atribuído a sua diferença de composição química em relação ao aço 5A, possuindo adições de Cu e W.

Os valores de PCA foram obtidos a partir da monitoração de Potencial de Circuito Aberto, enquanto os valores de Potencial de quebra de passivação (E_{qp}) e suas respectivas densidades de corrente foram determinadas por extrapolação da curva na região de dissolução da camada passiva, como indicado na Figura 5.

Figura 5 – Extrapolação da curva na região de dissolução da camada passiva



Fonte: Própria.

A Tabela 3 exibe as variáveis supracitadas para cada aço nas distintas concentrações de NaCl. Pela tabela, o AISD 5A apresenta valor de PCA bastante sensível ao aumento da concentração de íons cloretos, onde para maiores concentrações os valores tornam-se mais negativos. Segundo Silveira (2013), valores de PCA mais negativos indicam uma superfície menos protegida, sendo eletroquimicamente mais ativa e conseqüentemente mais propícia à reações de oxidação. O aço 6A apresenta comportamento semelhante, mas bem menos sensível, onde as variações de PCA são menores se comparadas às do 5A.

Tabela 3 – Valores de PCA, Eqp e Densidade de Corrente (I/A) para ligas 5A e 6A nas diferentes concentrações de NaCl

Concentração de NaCl	5A			6A		
	PCA (mV)	Eqp (mV)	I/A ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	PCA (mV)	Eqp (mV)	I/A ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
20.000ppm	-0,06509	1045,1	19,6	-0,04965	1052,6	11,7
40.000ppm	-0,09963	1056,1	47,3	-0,09103	1051,7	15,8
60.000ppm	-0,10601	1047,4	60,6	-0,08621	1043,9	27,2
80.000ppm	-0,12921	1062,6	91,5	-0,09753	1037,5	13,1

Fonte: Própria.

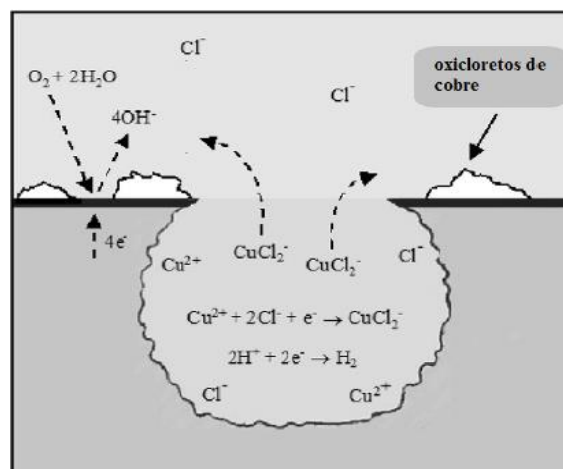
Analisando ainda ambos os aços nas mesmas concentrações, é possível notar que o 6A em todos os casos, exibe valores de PCA mais nobres que o 5A, reafirmando a maior proteção da película formada pelo 6A. Comportamento semelhante pode ser visto analisando

a densidade de corrente de ambos os aços, apresentando o 6A a menor densidade em todos os casos estudados. Mesmo exibindo uma redução nos valores de E_{qp} para as concentrações mais elevadas de NaCl, o aço 6A pode ser ainda tido como o mais nobre uma vez que a maior de diferença de E_{qp} entre os dois aços é de apenas 2,36%. Dando a concluir que a película formada no 6A torna de fato a superfície do aço menos ativa, e logo, menos susceptível à corrosão. Essas considerações corroboram ainda mais com as interpretações feitas a partir das curvas.

Segundo Garfias-Messias E Sykes (1998) e o seu mecanismo proposto, o que pode explicar esse efeito no aço 6A é presença de cobre no material, elemento que reagiria pela superfície com os íons cloretos formando uma película insolúvel de sal e mais protetora. Para explicar esse mecanismo os autores utilizaram dois aços inoxidáveis duplex (AID) com composição química de 26%Cr, 6%Ni, 3%Mo, 0,2%N, possuindo um o teor de 1,6%Cu enquanto o outro 0,5%Cu. Através do ensaio de polarização anódica em solução 1M de HCl a 65°C, verificou-se que a densidade de corrente foi menor para o AID com maior teor de cobre, representando uma diferença de densidade próxima de 25% em relação ao outro aço estudado.

Pardo et al. (2007) também exploraram a influência do cobre na resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis em meio contendo íons cloretos. Segundo os autores, uma maior adição de cobre resulta em um aumento significativo da resistência à corrosão, aumento esse atribuído a um conjunto de reações entre o elemento cobre e o eletrólito como esquematizado na Figura 5. Em resumo o mecanismo proposto baseia-se na precipitação de oxicloretos de cobre na superfície do material, o que dificultaria reações catódicas, retardando dessa forma o processo de corrosão e consequentemente a propagação de pites.

Figura 6: Esquematização do efeito do Cu no aumento da resistência à corrosão dos aços inoxidáveis em meio contendo íons cloretos



Fonte: Pardo et al. (2007).

Outros autores como Pereira et al. (2017) e o já citado Martins (2014), desenvolveram estudos semelhantes voltados para avaliação da influência do teor de Cu na resistência a corrosão de aços inoxidáveis superduplex. Ambos os trabalhos mostraram um melhor desempenho em condições mais hostis de concentração de NaCl para os AISD's com maiores teores de cobre.

4 CONCLUSÕES

- O aumento da concentração de íons cloretos foi prejudicial para a resistência à corrosão da liga 5A.
- O comportamento das curvas de polarização das amostras da liga 6A foi semelhante em todas as concentrações de NaCl estudadas.
- O aço 6A apresentou valores de PCA superiores ao 5A para todas as concentrações trabalhadas, indicando películas menos ativas e mais estáveis mesmo nas condições mais adversas de concentração de NaCl.
- A liga 6A exibiu comportamento mais nobre em comparação à liga 5A, o que é atribuído especialmente à presença de cobre no aço.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Cariri (UFCA) pelo apoio financeiro concedido, ao Laboratório Central Analítica da UFCA pelo suporte a realização dos ensaios, e ao Laboratório de Pesquisa em Corrosão da Universidade Federal do Ceará pela parceria na realização de parte dos experimentos deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- CAVALCANTI, Daniel Amâncio. **Efeito Da Fase Sigma Na Resistência À Corrosão Do Aço Uns S82441 Para Aplicação Offshore**. Dissertação (Mestrado) - Programa De Pós-Graduação Em Integridade Dos Materiais Da Engenharia, Universidade De Brasília. Brasília, p. 52. 2017. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/24004/1/2017_DanielAm%c3%a2ncioCavalcanti.pdf Acesso: 20. fev. 2021.
- COSTA E SILVA, A. L.V.; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais**. 3ª edição, São Paulo: Blucher, 2010, p.425.
- FERREIRA, Angela. Aplicação vai de veículos à linha branca. Disponível em: <http://www.icz.org.br/galvabrazil/2011/noticias-09.php> . Acesso em: 31 de agosto de 2020.
- GARFIAS-MESSIAS, L.F.; SYKES, J.M. Effect of cooper on active dissolution and pitting corrosion of 25% Cr duplex stainless steels. **Corrosion Science**, v.54, n.1, p.40-47, 1998.

Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/250394478 Effect of Copper on Active Dissolution and Pitting Corrosion of 25 Cr Duplex Stainless Steels](https://www.researchgate.net/publication/250394478_Effect_of_Copper_on_Active_Dissolution_and_Pitting_Corrosion_of_25_Cr_Duplex_Stainless_Steels) Acesso em: 20 jan. 2021.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011.

GIRÃO, Daniel de Castro. **Influência da fase sigma na resistência à corrosão do aço inoxidável superduplex astm a890 grau 1c após tratamento isotérmico**. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/13772/1/2015_dis_dcgirao.pdf Acesso em: 13 out. 2020.

ICZ - **Instituto de Metais Não Ferrosos**. Disponível em : <http://www.icz.org.br/upfiles/arquivos/apresentacoes/Bridges-Brazil-2013.pdf> . Acesso em : 31 de agosto de 2020.

MAGNABOSCO, R; ALONSO-FALLEIROS, N. Pit morphology and its relation to microstructure of 850°C aged duplex stainless steel. **Corrosion** , Houston, NACE, v. 61, n. 2, p. 130-136, 2005. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/240621981 Pit Morphology and Its Relation to Microstructure of 850C Aged Duplex Stainless Steel](https://www.researchgate.net/publication/240621981_Pit_Morphology_and_Its_Relation_to_Microstructure_of_850C_Aged_Duplex_Stainless_Steel) Acesso em: 20 jan. 2021.

MAIA, Eloá Lopes. **Avaliação da resistência à corrosão de juntas soldadas de aços inoxidáveis superduplex ASTM A890 A890M, graus 5A e 6A**. 2017. 1 recurso online (146 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/331742> Acesso em: 20 fev. 2021.

MARTINS, Alessandra Souza. **Estudo comparativo da resistência à corrosão dos aços inoxidáveis super duplex astm a 890 / A 890M grau 5A e 6A**. 2014 (73 p.) Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10731/1/2014_dis_asmartins.pdf Acesso em: 13 out. 2020.

MARTINS, Marcelo. **Caracterização Microestrutural-mecânica e resistência à corrosão do aço inoxidável super duplex ASTM A 890/A890M GRAU 6A**. 2006. 260f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 23 - 31. 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-25102007-152307/publico/MarceloMartins.pdf> . Acesso: 20. fev. 2021.

PARDAL, Juan Manoel. **Efeitos dos tratamentos térmicos nas propriedades mecânicas, magnéticas e na resistência à corrosão de aços inoxidáveis superduplex**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense. Niterói, p. 45. 2009. Disponível em: <https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online->

[106171/efeitos-dos-tratamentos-termicos-nas-propriedades-mecanicas-magneticas-e-na-resistencia-a-corrosao-de-acos-inoxidaveis-superduplex](#) . Acesso em: 20 de fev. 2021.

PARDO, *et al.* Pitting corrosion behaviour of austenitic stainless steels with Cu and Sn additions. **Corrosion Science**, v. 49, n.2, p. 510 - 525, set 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0010938X06001910> Acesso em: 20 jan. 2021.

PEREIRA, V. et al. Avaliação Eletroquímica da Resistência à Corrosão por Pites em Aços Inoxidáveis Duplex e Super Duplex em Soluções Simuladoras de Água do Mar. **Revista Virtual de Química**, v.9, n.6, dez 2017. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v9n6a20.pdf> Acesso em: 20 jan. 2021.

SANTOS, Regina Paula Garcia. **Microabrasão-Corrosão De Revestimentos De Inconel 625 Depositados Por Plasma Pó (Ptap)**. 2018. 178 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2018.774> Acesso em: 13 out. 2020.

SILVEIRA, Dalila Moreira da. **Avaliação Da Resistência À Corrosão De Juntas Soldadas De Aço Inoxidável Lean Duplex Uns S32304 Usando A Espectroscopia De Impedância Eletroquímica**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 59-61. 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-9FVEXJ/1/tese_corrigida.pdf Acesso em: 13 out. 2020.