

## **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO X-65 ANTES E APÓS TRATAMENTO TÉRMICO**

Kleber Martiniano de Lima<sup>1</sup>; Marcio Gleisson Medeiros Gonçalves<sup>1</sup>; Josiane Dantas Costa<sup>2</sup>; Mikarla Baía de Sousa<sup>2</sup>; Renato Alexandre Costa de Santana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo, kleberml2009@hotmail.com, marcio.gmgoncalves@yahoo.com.br.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, josiane\_dantas@hotmail.com, mikarlabaia@hotmail.com;

<sup>3</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Biologia e Química, renatoacs@ufcg.edu.br

### **Introdução**

Aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), como o aço X-65, são amplamente utilizados na indústria de óleo e de gás. As tubulações feitas com este aço são continuamente expostas a carregamentos dinâmicos, principalmente em áreas offshore. Dessa forma, os dutos estão expostos à água do mar em sua superfície externa e na parte interna ocorre o grande fluxo de fluido de produção. Por esta razão, é de suma importância a determinação da vida útil e da resistência a corrosão desses dutos [LEMONS, 2009].

Na indústria de óleo e de gás, onde qualquer falha de equipamento pode gerar danos ambientais catastróficos e financeiros, é necessário ter certa garantia de que o material empregado irá resistir à corrosão. Para isso, diversas técnicas, desde ensaios de materiais destrutíveis e indestrutíveis até ensaios eletroquímicos como polarização e impedância, além de tratamentos térmicos e revestimentos protetores, podem ser utilizadas para auxiliar na seleção dos materiais a serem utilizados [DENT, 2016; GONÇALVES, 2016].

Tratamento térmico é o conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir-lhes características determinadas, uma vez que as propriedades desses aços dependem, em princípio, de sua microestrutura; permitindo analisar, principalmente, a resistência à corrosão e a influência do tratamento térmico no aço [CHIAVERINI, 1988].

Têmpera é um processo de tratamento térmico feito em aços para aumentar a dureza e a resistência dos mesmos. A têmpera tem duas etapas: aquecimento e resfriamento rápido.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é analisar a influência do tratamento térmico do tipo têmpera no aço X-65 através de ensaios de resistência à corrosão analisando as variáveis potencial de corrosão, corrente de corrosão e resistência à polarização.

### **Metodologia**

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Corrosão da Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

O substrato utilizado foi uma placa de aço X-65 (sete amostras), comumente utilizado na indústria de óleo e de gás em dutos de transporte, cortado na forma de um quadrado com dimensões de 1,5 cm x 1,5 cm e com área superficial em cada face de 2,25 cm<sup>2</sup>.

As amostras passaram por um processo de limpeza com lixas do tipo 100, 400, 600 e 1200 mesh, para remoção de impurezas e homogeneização da superfície e em seguida foram lavadas com água destilada e enxutas com papel toalha.

Para a realização do estudo foi utilizado um planejamento fatorial completo 2<sup>2</sup>, com 2 experimentos no ponto central (0) totalizando 6 experimentos. Cada variável independente foi investigada

para um nível mais alto (+1) e um nível mais baixo (-1). As variáveis independentes estudadas foram o tempo e a temperatura e as variáveis dependentes analisadas foram potencial de corrosão ( $E_{\text{Corr}}$ ), corrente de corrosão ( $I_{\text{Corr}}$ ) e resistência à polarização ( $R_p$ ). Os tempos de permanência das amostras no forno foram: 20 min (-1), 40 min (0) e 60 min (+1) e as temperaturas: 200 °C (-1), 400 °C (0) e 600 °C (+1).

Para realização do tratamento térmico, os experimentos foram conduzidos em um forno resistivo da marca EDG modelo F3000, com sistema digital de controle de tempo em minutos (min), velocidade de aquecimento em graus Celsius por minuto (°C/min) e temperatura em graus Celsius (°C), considerando os parâmetros de tempo de permanência da amostra no forno e de temperatura de aquecimento.

Nas amostras 1, 2, 3, 4, 5, e 6 foram atribuídas velocidades de aquecimento de 10 °C/min, temperaturas e tempo, respectivamente, 200 °C com 20 min, 200 °C com 60 min, 600 °C com 20 min, 600 °C com 60 min, 400 °C com 40 min, 400 °C com 40 min e a amostra 7 não sofreu tratamento térmico. As amostras 1 a 6 foram bruscamente resfriadas em um béquer de vidro com 100 ml de água destilada, ocasionando um resfriamento rápido seguindo o processo de têmpera.

Em seguida foram realizados os ensaios de corrosão, utilizando uma célula eletroquímica composta por três eletrodos. Foram utilizados o eletrodo de calomelano saturado (ECS) como eletrodo de referência, o eletrodo de espiral de platina utilizado como contra-eletrodo e o eletrodo de trabalho utilizado foi o aço X-65 com e sem tratamento térmico, tendo uma área exposta de 0,1256 cm<sup>2</sup>. Todos os potenciais de corrosão encontrados são referentes ao eletrodo de calomelano saturado.

A técnica de polarização potenciodinâmica linear através da extrapolação das retas de Tafel foi utilizada para determinar o potencial de corrosão ( $E_{\text{Corr}}$ ), a corrente de corrosão ( $I_{\text{Corr}}$ ) e a resistência de polarização ( $R_p$ ) das amostras estudadas. As curvas de polarização foram obtidas com uma taxa de varredura de 1 mV s<sup>-1</sup> através de um potenciostato/galvanostato Autolab PGSTATE 302N conectado a um computador pelo *software* Nova 1.11. Todos os testes de corrosão eletroquímica foram realizados em meio corrosivo contendo NaCl (cloreto de sódio) a 3,5 % em solução a temperatura ambiente que simulava a água do mar. Esta técnica de corrosão nos permite verificar a influência do tratamento térmico na resistência à corrosão do aço estudado.

## Resultados e discussão

Os resultados obtidos através da polarização potenciodinâmica linear (PPL), nas sete amostras levando em consideração o potencial de corrosão ( $E_{\text{Corr}}$ ) em Volts (V) foram os seguintes: Experimento 1 (-0,618V); Experimento 2 (-0,643V); Experimento 3 (-0,541V); Experimento 4 (-0,632V); Experimento 5 (-0,638V); Experimento 6 (-0,644V) e Experimento 7 (-0,727V). Para a corrente de corrosão ( $I_{\text{Corr}}$ ) em Amperes (A) foram obtidos os seguintes resultados: Experimento 1 (14,13x10<sup>-6</sup> A); Experimento 2 (10,02 x10<sup>-6</sup> A); Experimento 3 (5,13 x10<sup>-6</sup> A); Experimento 4 (0,439 x10<sup>-6</sup> A); Experimento 5 (1,15 x10<sup>-6</sup> A); Experimento 6 (1,69 x10<sup>-6</sup> A) e Experimento 7 (2,38 x10<sup>-6</sup> A). Para a avaliação da resistência à polarização ( $R_p$ ) em Ohms ( $\Omega$ ) foram encontrados os seguintes resultados: Experimento 1 (4,69 x 10<sup>3</sup>  $\Omega$ ); Experimento 2 (5,96 x 10<sup>3</sup>  $\Omega$ ); Experimento 3 (4,28 x 10<sup>3</sup>  $\Omega$ ); Experimento 4 (17,94 x 10<sup>3</sup>  $\Omega$ ); Experimento 5 (15,45 x 10<sup>3</sup>  $\Omega$ ); Experimento 6 (15,40 x 10<sup>3</sup>  $\Omega$ ) e Experimento 7 (8,58 x 10<sup>3</sup>  $\Omega$ ).

A análise dos resultados de corrosão para o aço X-65 com tratamento térmico foi realizada através de métodos estatísticos. O programa “Statística” versão 8.0 foi utilizado para o tratamento dos dados do planejamento fatorial completo 2<sup>2</sup> com duas repetições no ponto central. As variáveis utilizadas foram temperatura e tempo do tratamento térmico, tendo como respostas os parâmetros

eletroquímicos extraídos das curvas de polarização: potencial de corrosão ( $E_{\text{Corr}}$ ), corrente de corrosão ( $I_{\text{Corr}}$ ) e resistência à polarização ( $R_p$ ).

Foi possível estabelecer um modelo de primeira ordem para cada parâmetro eletroquímico estudado, entretanto a análise de variância (ANOVA) demonstrou que os modelos estatísticos não foram significativos e preditivos ao nível de 95% de confiança ( $p < 0,05$ ). Assim, os modelos lineares sugeridos pelo planejamento experimental  $2^2$  mais dois pontos centrais, não são indicados para descrever o comportamento corrosivo dessa liga. Sugere-se que o delineamento experimental seja ampliado com a incorporação dos pontos axiais para enfim, averiguar se o modelo proposto será significativo e preditivo.

Como os modelos não foram significativos, este planejamento serviu apenas para mostrar uma possível tendência dos efeitos causados pelas variáveis estudadas.

Os resultados demonstram que, levando em conta os potenciais de corrosão ( $E_{\text{Corr}}$ ) encontrados, o experimento 3 apresentou o resultado mais satisfatório (-0,541 V) haja vista que quanto mais positivo for esse valor, mais resistente à corrosão o material é. Lembrando que o Experimento 3 foi tratado termicamente a 600 °C durante 20 minutos. Levando-se em consideração as correntes de corrosão ( $I_{\text{Corr}}$ ) e as resistências à polarização ( $R_p$ ), o experimento 4 apresentou o melhor resultado com  $0,439 \times 10^{-6}$  A e  $17,94 \times 10^3 \Omega$ , já que a corrente de corrosão deve ser a menor possível e a resistência à polarização a maior. Este experimento foi tratado termicamente a 600 °C durante 60 minutos, isto demonstra que o tratamento térmico influenciou positivamente na resistência à corrosão das amostras estudadas, já que o Experimento 7 que não passou por tratamento térmico apresentou o pior resultado dentre todos os experimentos considerando o potencial de corrosão ( $E_{\text{Corr}}$ ) e, além disso, analisando a corrente de corrosão ( $I_{\text{Corr}}$ ) e a resistência à polarização ( $R_p$ ) percebe-se que os resultados alcançados pelo experimento 4 foram melhores que o experimento 7.

### Conclusões

Os resultados encontrados demonstram que o tratamento térmico do tipo têmpera com resfriamento brusco influencia diretamente na resistência à corrosão e refletem variações nas variáveis dependentes para todos os diferentes tipos de temperaturas e tempos. Para o aço X-65 os melhores resultados encontrados para resistência à corrosão foram para a temperatura de 600 °C e tempo de 60 min, com base na resistência à polarização ( $R_p$ ) e a corrente de corrosão ( $I_{\text{Corr}}$ ).

**Palavras-Chave:** Tratamento térmico; corrosão; aço X-65; ensaios eletroquímicos.

### Referências

- CHIAVERINI, V; **Aços e Ferros Fundidos**. 6<sup>a</sup>. ed. ABM, 1988. São Paulo.
- DENT, P. **Evaluation of the Seabed Temperature Corrosion and Sul\_de Stress Cracking Resistance of Weldable Martensitic 13Cr Stainless Steel**, Science and Technology of Welding and Joining, University of Birmingham. 2016 v. 6.
- GONÇALVES, R. R. **Avaliação da resistência à corrosão de aços inoxidáveis martensíticos através de ensaios de impedância eletroquímica localizada**. Monografia (graduação) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2016.
- LEMONS, M. F. **Avaliação da vida em fadiga de juntas soldadas do aço API 5L X65 em meios aquosos salinos saturados com diferentes pressões parciais de CO<sub>2</sub>**. 2009. 77p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.