

ESTUDO DA INIBIÇÃO DA CORROSÃO EM AMOSTRAS DE AÇO CARBONO IMERSAS EM ÁGUA DE FORMAÇÃO E ÁGUA DO MAR SIMULADA

Data de aceite: 01/03/2023

Thainara Pérciles Soares Ferro

Engenheira de Petróleo pelo Centro
Universitário Tiradentes-UNIT

Williams Raphael de Souza Morais

Professor do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Pará-
IFPA

Jaceguai Soares da Silva

Professor do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Amapá-IFAP

RESUMO: O aço carbono é uma liga metálica bastante utilizada na indústria do petróleo e gás por apresentar uma maior resistência e durabilidade, porém esse material está suscetível aos processos de corrosão. O objetivo desse estudo foi avaliar a eficiência da aplicação do método de barreira em aço carbono estrutural da mistura contendo os tipos ASTM 572-50 e ASTM A131-EH36 para proteção frente a processos corrosivos. Os corpos de prova, com e sem revestimento, foram expostos em água de formação e água salina simulada e, posteriormente, avaliados por ensaio de perda de massa durante 180 dias. O ensaio

utilizado demonstrou que nos corpos de prova sem revestimento houve o desenvolvimento de ataques corrosivos, diferentemente dos que continham o revestimento.

PALAVRAS-CHAVE: Petróleo. Corrosão. Aço Carbono. Perda de Massa.

1 | INTRODUÇÃO

A corrosão é um dos maiores gargalos industriais, causando diversos problemas, principalmente do ponto de vista operacional e econômico. As perdas econômicas causadas pela corrosão são altamente alarmantes (CHAUBEY et al., 2021). De acordo com a *World Corrosion Organization*, cerca de um quarto da produção anual de aço é danificado por corrosão (KARAHACANE et al., 2017). O setor industrial de petróleo e gás tem testemunhado ultimamente grandes perdas econômicas devido aos problemas das reações corrosivas nas diferentes etapas da produção e transporte (PEREZ, 2013; OBOT et al., 2019; HOSSAIN, ASADUZZAMAN CHOWDHURY e KCHAOU, 2021).

Segundo Gentil (2017), pode-se admitir a corrosão como um processo destrutivo de natureza eletroquímica que ocorre como resultado da formação de pilhas ou células de corrosão em regiões diferentes de um mesmo metal, com eletrólito e diferença de potencial entre os trechos da superfície do aço. Os processos corrosivos podem ser classificados em dois grandes grupos, corrosão eletroquímica e corrosão química, abrangendo todos os casos de deterioração por corrosão (MATLAKHOV e MATLAKHOVA, 2021).

Para evitar as perdas dos materiais de elevado uso industrial, são utilizadas técnicas anticorrosivas que incluem os revestimentos, as técnicas de modificação do meio, a proteção catódica e anódica e, os inibidores de corrosão como a utilização de compostos orgânicos (FRAUCHES-SANTOS, 2014). Este fato torna o estudo da corrosão, principalmente no que diz respeito ao seu controle, fundamental para preservar a vida útil dessas estruturas, além de minimizar gastos oriundos dos processos corrosivos relativos às inspeções, substituições e reparos das peças (SANTOS FILHO, 2010).

Nesta perspectiva, este capítulo de livro avaliou a proteção do aço carbono usada na indústria petrolífera através da utilização de técnicas de barreira e avaliação por técnica gravimétrica.

2 | METODOLOGIA

2.1 Preparo dos corpos de prova

Toda parte experimental do respectivo trabalho foi desenvolvido no Laboratório Multidisciplinar de Engenharia de Petróleo no Centro Universitário Tiradentes – UNIT. Os corpos de prova utilizados eram compostos pela mistura dos aços carbono ASTM 572-50 e ASTM A131-EH36, com revestimento (pintura com a mistura das tintas N2677 com a tinta N2680) e sem revestimento, cedidos pelo Consórcio Tomé Ferrestal. Para a limpeza dos corpos de aço, primeiramente eles foram lavados em água corrente, e em seguida, com água destilada para a retirada de qualquer substância fixada nas peças. Após a lavagem, foi utilizado papel toalha para secá-los. Logo depois, os corpos foram enrolados em papel toalha e levados para secar na estufa com temperatura de 150 °C por 30 minutos.

2.2 Meios de exposição

Os meios agressivos utilizados neste estudo foram o cloreto de sódio (NaCl), a 3,5% (m/v), para simular a água do mar, e a água de formação, extraída do campo Sergipe-Alagoas, cedida por uma empresa de petróleo e gás que pediu sigilo dos dados.

2.3 Montagem do sistema e pesagem

Após a secagem dos corpos, todas as amostras foram pesadas para obter um valor de massa inicial e logo em seguida, foram inseridas em seus respectivos béqueres com os meios agressivos citados anteriormente. A análise da perda de massa ocorreu durante um período de 6 meses, em que as pesagens realizadas foram divididas nos seguintes

tempos (dias): 0 (antes da exposição aos meios), 1, 3, 7, 15, 21, 28 e 180. Nas pesagens foi utilizada uma balança analítica com precisão de 0,0001 g para verificar se houve perda de massa no decorrer do tempo. Antes do processo de pesagem, foi utilizado o vórtex, aparelho com a função de agitação, usado com o intuito de remover algum tipo de sedimento retido na superfície dos corpos. Cada béquer passou 1 minuto no processo de agitação, logo em seguida, os corpos eram retirados, lavados em água corrente e água destilada, respectivamente, enxugados com papel toalha e pesados na balança analítica.

2.4 Cálculos utilizados no tratamento dos dados

A partir da perda de massa dos corpos de prova utilizados, foi calculada a perda percentual da massa, por meio da Equação 1, como foram utilizados dois corpos de prova em cada condição, o valor percentual final da perda foi calculado por média aritmética.

$$\% = \frac{m_x}{m_i} \cdot 100 \quad \text{Eq.1}$$

Onde:

m_x = massa da peça após pesagem;

m_i = massa inicial.

Após determinar a perda de massa nos corpos de prova, alguns parâmetros físicos relacionados à corrosão foram calculados. A quantidade de carga (Q), que é calculada, em Coulombs (C), por meio da Equação 2.

$$Q = \frac{ne * F * \Delta m}{MM} \quad \text{Eq.2}$$

Onde:

ne = Número de elétrons;

F = Constante de Faraday (96.485 s A. mol⁻¹);

Δm = Variação de massa (g);

MM = Massa molar (Fe = 55,85 g.mol⁻¹).

i_{corr} é a corrente média de corrosão absoluta e Δt é o tempo de corrosão, como segue na Equação 3.

$$i_{corr} = \frac{Q}{\Delta t} \quad \text{Eq.3}$$

Onde:

Q = quantidade de carga;

Δt = Tempo de corrosão.

J_{corr} é a densidade de corrente, dada pela divisão do i_{corr} (corrente de corrosão) e área superficial, como segue na Equação 4.

$$J_{corr} = \frac{i_{corr}}{As} \quad \text{Eq.3}$$

A área superficial do corpo de prova utilizado foi do tipo paralelepípedo retangular. Foram medidas, em duplicata, com um paquímetro, o comprimento, a largura e a altura de cada corpo de prova. Com os valores médios de comprimento, largura e altura de cada corpo de prova calcularam-se a área superficial de cada corpo de prova através da Equação 4.

$$A_s = 2ab + 2bc + 2ac \quad \text{Eq.4}$$

Onde:

a = altura;

b = base;

c = comprimento.

Após os dados coletados foi aplicado um tratamento estatístico, relacionando área e massa, e a partir dessa relação foi traçada uma reta para a obtenção de uma equação, a relação é representada pela equação e gráfico da Figura 1.

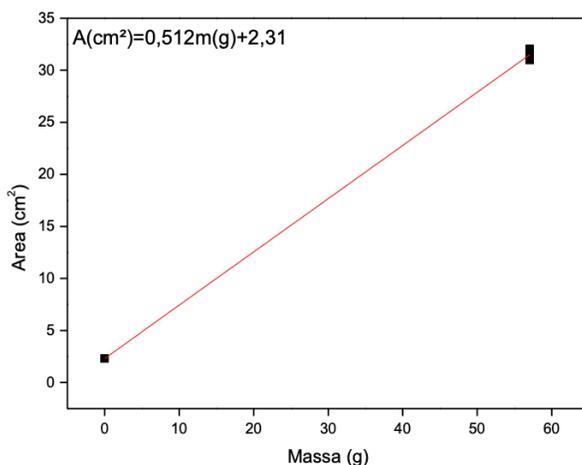


Figura 1- Relação entre a massa e a área dos corpos de prova utilizados.

Fonte: Autores (2023).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de massa obtidos no dia de cada pesagem foram coletados e aplicados as fórmulas descritas anteriormente na metodologia. Com a obtenção de cada parâmetro (perda de massa percentual, carga acumulada e densidade de corrente de corrosão) foi possível verificar o comportamento das amostras com revestimento e sem revestimento expostas em um ambiente propício ao desenvolvimento de corrosão.

Após o processo de exposição dos corpos de prova, submetidos em água de

formação e água salina a 3,5% (NaCl, m/v), foi possível perceber o início da formação do processo corrosivo. A Figura 2 mostra as peças que foram submetidas aos determinados meios de exposição.

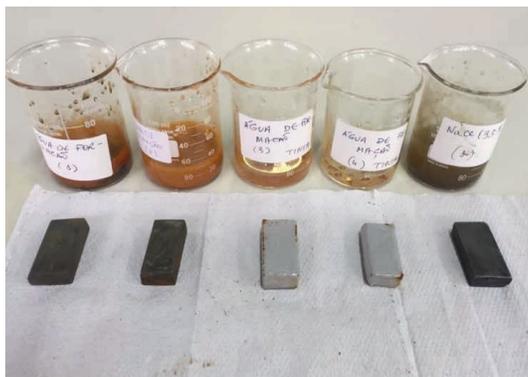


Figura 2- Corpos de prova após imersão nos meios agressivos.

Fonte: Autores (2023).

Nas peças sem revestimento, independentemente do meio agressivo utilizado, o processo corrosivo ataca diretamente o aço, fato percebido pela mudança na coloração dos meios utilizados, indicando a perda da massa e conseqüente dissolução no meio corrosivo. Mesmo que o metal utilizado seja de boa qualidade e apresente grande resistência e durabilidade, ele não possui resistência a corrosão. Na Figura 3, é possível perceber o início deste processo corrosivo de forma mais uniforme em toda extensão do corpo de prova.



Figura 3- Corpo de prova sem revestimento com início de corrosão.

Fonte: Autores (2023).

Nos corpos de prova com revestimento também existem o desenvolvimento do processo corrosivo, porém ocorre de forma distinta dos que não possuíam revestimento. Neste caso, a tinta utilizada funciona como método de barreira, protegendo o aço carbono, os pontos corrosivos que se desenvolvem são apenas nas extremidades da amostra, que é o local onde existe pouca inserção da tinta, ou seja, ficam mais passivos de ocorrer choques mecânicos ou desprendimento da tinta. Com isto, o aço revestido, permanece protegido, causando apenas desgastes mínimos nas extremidades do corpo de prova. Nesse caso, a perda de massa do material revestido é quase que imperceptível. Na Figura 4 é possível perceber a formação do processo corrosivo no revestimento do corpo de prova exposto na água de formação (Figura 4.a) e na água salina (Figura 4.b), caracterizando uma corrosão com a morfologia de pite.

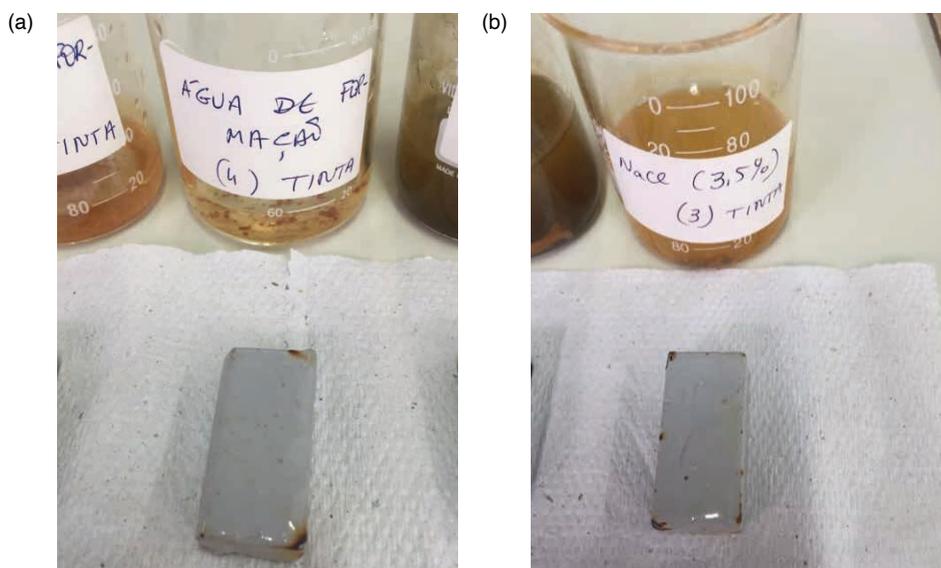


Figura 4- Peças revestidas com sinal de corrosão expostas na (a) água de formação e na (b) água salina simulada.

Fonte: Autores (2023).

A análise da perda percentual das massas das amostras permitiu verificar que, com a tinta a variação de massa é quase imperceptível, ou seja, a tinta protegeu a superfície metálica durante a exposição ao meio agressivo. Já as peças sem revestimento houve perda de massa considerável como mostrado na Figura 5, nas curvas vermelha e azul, além disso, observou-se uma intensa coloração dos meios de exposição contidos com essas peças. Esse fato evidencia o ataque corrosivo nesses corpos, onde não havia proteção com revestimento.

Na análise de perda percentual de massa, utilizando os dados obtidos no decorrer

do experimento, foi possível perceber que os corpos de prova com revestimento não sofreram nenhum tipo de ataque corrosivo em relação ao tempo de exposição. Através do desvio de variação é possível perceber que no início do processo o desvio é pequeno, apresentando um aumento no final da exposição dos meios utilizados, ou seja, não houve perda significativa de massa. Já as peças sem revestimento apresentam um desvio de variação sucessivo crescente, indicando que houve uma perda significativa de massa utilizando os respectivos meios de exposição.

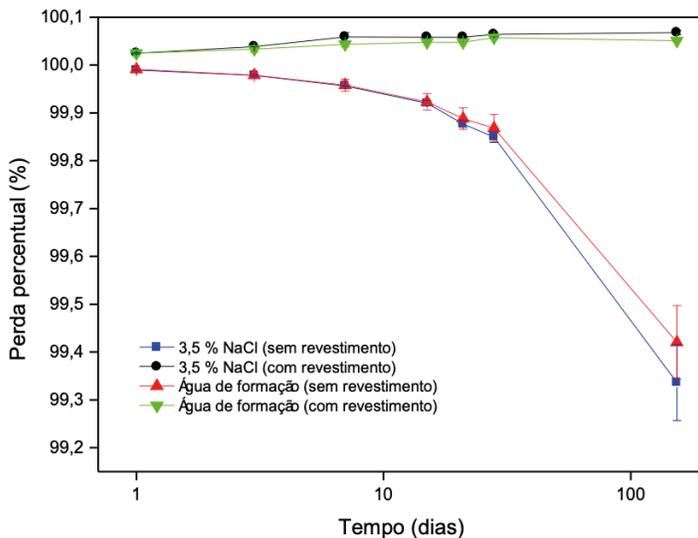


Figura 5- Relação entre a perda percentual de massa e o tempo.

Fonte: Autores (2023).

A carga acumulada é um parâmetro importante, pois tem uma relação direta com a corrosão, quanto maior a carga acumulada maior a dissolução de material metálico. Na figura 6 são apresentados os valores de carga acumulada para os dois meios agressivos após 180 dias de ensaio para as peças sem revestimento, imersas em água de formação, representada pela cor vermelha, e água salina simulada 3,5%, indicada pela cor azul, os valores de carga encontrados foram superiores a 800 C.

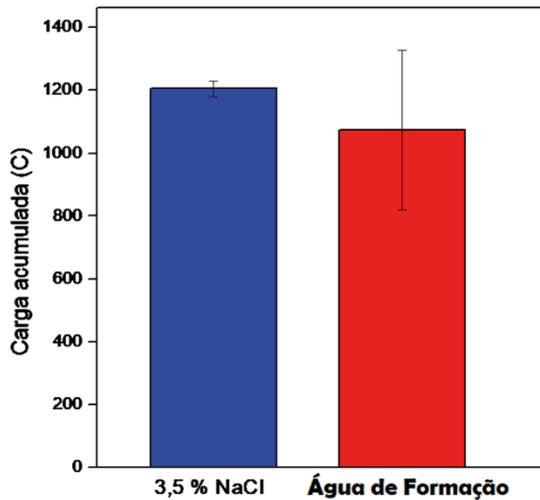


Figura 6- Carga acumulada das amostras.

Fonte: Autores (2023).

Esse cálculo de carga revelou a semelhança dos meios agressivos utilizados. Mesmo não obtendo dados das características da água de formação, pode-se perceber que este meio apresenta uma semelhança de íons em relação à solução de água do mar simulada (3,5% NaCl), visto que a diferença é pequena considerando o desvio padrão para cada meio.

A densidade de corrente (J_{corr}) foi calculada com o intuito de comprovar a capacidade de proteção do revestimento utilizado nos corpos de prova para os dois meios. Na Figura 7, através do gráfico, pode-se observar que os corpos de prova sem revestimento, representados pelas cores azul e vermelha, apresentaram uma densidade de corrente elevada nos primeiros dias de exposição. Após 180 dias expostos no meio utilizado, a variação da densidade de corrente diminuiu, mas o ataque corrosivo ocorre de forma menos intensa.

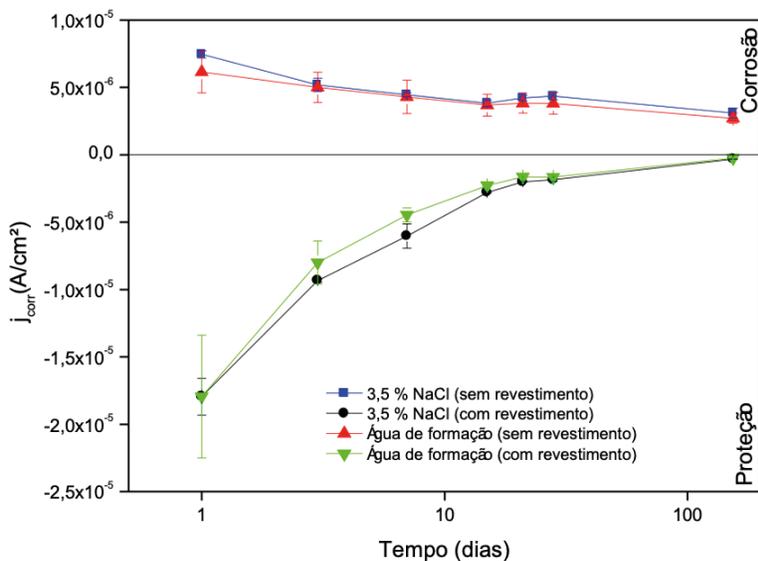


Figura 6- Densidade de corrente dos corpos de prova.

Fonte: Autores (2023).

Ainda sobre a Figura 7, considerando agora os corpos de prova com revestimento, representados pelas cores verde e preto, após 180 dias de ensaio, apresentaram uma densidade de corrente crescente, porém esse crescimento ocorreu no eixo negativo, proporcionando, assim, a proteção do corpo de prova. Através desta análise, pode-se afirmar que, o método de barreira utilizado foi eficiente e protegeu os corpos de prova durante os 180 dias de ensaio, quando expostas aos meios agressivos estudados.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do processo corrosivo sobre corpos de prova submetidos em água de formação e água salina simulada (3,5% NaCl) exemplifica apenas um dos processos corrosivos possíveis de ocorrer na indústria. Através do comportamento das amostras, foi possível perceber que os corpos de prova sem revestimento sofreram um maior ataque corrosivo, de forma mais uniforme durante o ensaio, por meio da mudança da coloração do meio agressivo e, conseqüentemente, ocasionando uma perda percentual de massa significativa em comparação aos corpos que possuíam revestimento.

Neste caso, pode-se afirmar que o método de barreira utilizado apresentou uma ótima eficiência de proteção contra a corrosão, pois durante todo o período de exposição o revestimento protegeu totalmente a superfície metálica, fato evidenciado pelos valores dos parâmetros de corrosão calculados, os quais indicam uma proteção anticorrosiva.

REFERÊNCIAS

CHAUBEY, Namrata et al. Fronteiras e avanços em inibidores verdes e sustentáveis para aplicações de corrosão: uma revisão crítica. **Journal of Molecular Liquids**, v. 321, p. 114385, 2021.

GENTIL, V. **Corrosão**, 7 ed., Rio de Janeiro, ED. LTC, 2017. 584p.

HOSSAIN, Nayem; ASADUZZAMAN CHOWDHURY, Mohammad; KCHAOU, Mohamed. An overview of green corrosion inhibitors for sustainable and environment friendly industrial development. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v. 35, n. 7, p. 673-690, 2021.

KARAHACANE, Hana et al. An overview on plant extracts as potential green corrosion inhibitors for metals and alloys. **Arabian Journal of Chemical and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 46-62, 2017.

MATLAKHOV, A. N.; MATLAKHOVA, L. A. **Corrosão e Proteção dos Materiais**. Paco e Littera, 2021.

OBOT, I. B. et al. Progress in the development of sour corrosion inhibitors: Past, present, and future perspectives. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 79, p. 1-18, 2019.

PEREZ, Teresa E. Corrosion in the oil and gas industry: an increasing challenge for materials. **Jom**, v. 65, n. 8, p. 1033-1042, 2013.

SANTOS FILHO, M. M. **Investigação da potencialidade de um biopolímero como inibidor de corrosão do aço carbono em meio alcalino**. Monografia de Qualificação de Doutorado (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2010.