

AVALIAÇÃO DO ÓLEO EXTRAÍDO DAS SEMENTES DA *Hancornia Speciosa* Gomes (MANGABA) COMO INIBIDOR ECOLÓGICO DE CORROSÃO

Matheus da S. Bullmann¹, Brendon C. Barreto², Edilson de J. Santos³, Michelle C. S. S. Macedo⁴

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brasil
(matheusws7.4@gmail.com)

²Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais/Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão - SE, Brasil

³Departamento de Engenharia Química/Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, Brasil

⁴Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais / Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão - SE, Brasil

Resumo: O óleo extraído das sementes de *Hancornia speciosa* Gomes foi avaliado como inibidor ecológico de corrosão para o aço API 5L em solução de NaCl 3,5% por ensaios gravimétricos, isotermas de adsorção e MEV. A maior eficiência foi obtida em 200 ppm (47,12%). A baixa solubilidade do óleo resultou em uma pobre adsorção e filme superficial descontínuo, limitando sua ação protetora, embora evidencie potencial para otimização em estudos futuros.

Palavras-chave: corrosão; inibidor verde; *Hancornia speciosa* Gomes

INTRODUÇÃO

Indústrias em todo o mundo, em especial as indústrias petrolíferas, enfrentam inúmeros problemas relacionados à corrosão de materiais metálicos (IWATT *et al.*, 2026). Além das perdas econômicas, estimadas em cerca de 3 a 4% do Produto Interno Bruto (PIB) de um país, o desgaste destes materiais devido aos processos corrosivos pode ocasionar sérios impactos ambientais, falhas operacionais e graves acidentes envolvendo perdas de vidas humanas (WANG *et al.*, 2024). Embora a corrosão seja um fenômeno espontâneo, é de fundamental importância desenvolver estratégias capazes de retardar sua ocorrência, proporcionando uma proteção mais efetiva às estruturas e garantindo uma maior durabilidade aos materiais (ESSIEN *et al.*, 2026).

Dentre os diversos ambientes agressivos encontrados na indústria para os materiais metálicos, os meios contendo íons cloreto destacam-se pela elevada severidade corrosiva, uma vez que os íons Cl⁻ são capazes de promover a ruptura localizada das camadas de óxidos com caráter protetor ou dificultar sua formação, acelerando as reações de oxidação e comprometendo a integridade estrutural dos materiais metálicos (WANG *et al.*, 2024). Entre os métodos utilizados para proteção contra a corrosão, os inibidores se destacam por sua viabilidade econômica, facilidade de aplicação e eficiência técnica, pois

proporcionam a integridade estrutural do material nos mais diferentes meios corrosivos. Embora a prática do uso de inibidores de corrosão seja bastante antiga, é importante ressaltar que devido à crescente preocupação ambiental e ao surgimento de legislações cada vez mais rígidas, muitos compostos usados como inibidores de corrosão foram proibidos por apresentarem elevada toxicidade (BENTISS *et al.*, 1999; MACEDO *et al.*, 2012; MAIZIA *et al.*, 2025). Nesse sentido, pesquisas em todo o mundo vêm sendo realizadas com o intuito de encontrar alternativas sustentáveis que associem elevada eficiência anticorrosiva, baixo custo e reduzido impacto ambiental. Dessa forma, os inibidores verdes de corrosão vêm ganhando cada vez mais notoriedade, pois são ecologicamente corretos e conferem proteção aos materiais metálicos em diversos meios corrosivos (GHEHSAREH *et al.*, 2025; PARANGUSAN *et al.*, 2025; ZHANG *et al.*, 2025; LOTO *et al.*, 2025; THACKER e RAM, 2025). Os inibidores verdes são obtidos a partir de fontes naturais renováveis, principalmente extratos de folhas, caules e sementes de plantas, bem como óleos essenciais e resíduos agroindustriais, geralmente obtidos a partir de processos simples de extração, o que os torna ainda mais interessantes para tal aplicação. Esses inibidores apresentam uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos capazes de adsorver sobre a superfície



metálica, formando um filme que atua como uma barreira protetora que bloqueia a passagem de íons agressivos, retardando ou evitando os processos corrosivos (MACEDO *et al.*, 2012). A eficiência desses compostos está relacionada à presença de moléculas contendo heteroátomos, grupos funcionais oxigenados e sistemas π conjugados, que favorecem a interação com a superfície do metal e reduzem a velocidade das reações corrosivas, como também à afinidade entre o substrato metálico e a molécula orgânica ou inorgânica, sendo que quanto mais forte for essa ligação química, maior será a área de superfície ativa protegida pelo filme formado pelo inibidor.

Diversos estudos têm demonstrado resultados promissores utilizando extratos de folhas, cascas, frutos e sementes como inibidores de corrosão. Em especial, óleos vegetais ricos em ácidos graxos insaturados, compostos fenólicos, flavonoides e outros metabólitos secundários têm apresentado elevada capacidade de adsorção sobre superfícies metálicas, atuando como barreiras físicas e químicas contra a corrosão. (SHANG e ZHU, 2021; RAJA e SETHURAMAN, 2008).

Embora muitos estudos apresentem resultados promissores, vale destacar que a flora brasileira é riquíssima, apresentando uma grande diversidade de espécies vegetais que merecem ser cuidadosamente investigadas, a fim de se encontrar extratos ainda mais eficientes para ambientes extremamente agressivos como os meios salinos e ácidos. Entre as espécies nativas de interesse destaca-se a *Hancornia speciosa* Gomes, popularmente conhecida como mangaba, planta encontrada em diversas regiões do país.

Neste trabalho, o óleo extraído das sementes da *Hancornia speciosa* Gomes foi avaliado como inibidor de corrosão para o aço API 5L em meio de NaCl 3,5%. Vale destacar que o estado de Sergipe figura entre os principais produtores nacionais de mangaba, sendo o fruto considerado um importante símbolo cultural regional e amplamente utilizado na culinária local e na medicina popular (NARAIN *et al.*, 1995; SILVA JÚNIOR, 2006). Embora parte dos resíduos gerados durante o beneficiamento industrial seja reaproveitada como fertilizante orgânico e alimentação animal, uma parcela significativa ainda é descartada em aterros sanitários, representando uma oportunidade para agregação de valor por meio de aplicações tecnológicas inovadoras. Além disso, o potencial de aproveitamento desses resíduos agroindustriais em aplicações como inibidor verde de corrosão permanece subexplorado, evidenciando a relevância científica e tecnológica desta pesquisa.

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar, por meio de ensaios gravimétricos, o comportamento do óleo extraído das sementes da mangaba como inibidor ecológico de corrosão para o aço API 5L em meio

salino, bem como identificar a concentração mais eficiente dentre as condições investigadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta, preparo das sementes e extração do óleo

As sementes de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) foram obtidas como resíduo agroindustrial proveniente de indústrias de processamento de polpas e sucos localizadas no estado de Sergipe. Inicialmente, as sementes foram submetidas à limpeza e higienização utilizando solução de hipoclorito de sódio (NaClO), visando a remoção de impurezas superficiais e possíveis contaminantes microbiológicos. O preparo da matéria-prima foi realizado com base na metodologia descrita por Juan e Chou (2010), onde as sementes foram pesadas e transferidas para um erlenmeyer, ao qual foi adicionada água destilada na proporção de três vezes a massa do material sólido. Em seguida, foi realizado tratamento térmico em autoclave a 121 °C durante 15 min. Após esse procedimento, o material foi filtrado e novamente autoclavado por 1 h e 40 min à mesma temperatura.

A extração do óleo foi realizada em um ultrassom (Hielscher UP100H) operando com potência de 100 W e frequência de 30 kHz durante 2 h. O etanol 99,8% (Neon®) foi empregado como solvente na proporção de 1:10 (m/v). Ao término da extração, a suspensão foi submetida à filtração a vácuo para remoção dos sólidos remanescentes. O solvente foi posteriormente removido em evaporador rotativo sob pressão reduzida a 43 °C, obtendo-se o óleo bruto das sementes da mangaba. O óleo extraído foi acondicionado em freezer a -18 °C até a realização dos ensaios de corrosão.

Preparação dos corpos de prova

Corpos de prova de aço API 5L foram confeccionados com seção quadrada, com área superficial aproximada de 1 cm², conforme ilustrado na Figura 1. Em cada amostra foi realizado um furo central de 0,5 mm de diâmetro para possibilitar sua suspensão utilizando-se de um fio de nylon durante os ensaios de imersão.

As amostras foram lixadas sequencialmente até a granulometria #1200, utilizando lixas de carbeto de silício. Posteriormente, foram lavadas com água destilada e desengorduradas em solução contendo água destilada e álcool etílico na proporção 1:1, utilizando banho ultrassônico durante 5 min. Após a limpeza, os corpos de prova foram secos com jato de ar frio e armazenados em dessecador até a realização dos ensaios.

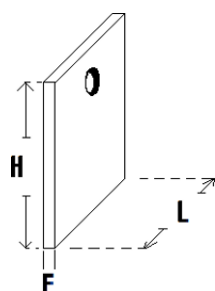


Figura 1: Representação esquemática das amostras utilizadas nos ensaios de perda de massa.

Ensaio Gravimétricos

Os ensaios de perda de massa foram conduzidos de acordo com os procedimentos descritos na norma ASTM G1-03. Inicialmente, foi preparada uma solução aquosa de NaCl 3,5% (m/v), utilizada para simular a concentração de íons cloreto na água do mar. Antes da exposição ao meio corrosivo, as dimensões dos corpos de prova preparados anteriormente foram determinadas com auxílio de paquímetro para o cálculo da área exposta, desconsiderando-se a área correspondente ao furo de suspensão. Em seguida, as amostras foram submetidas à limpeza final em banho ultrassônico contendo etanol P.A. durante 5 min, secas com jato de ar frio e pesadas em balança analítica com resolução de 0,0001 g. Devido à elevada viscosidade e densidade do óleo extraído das sementes da mangaba, as concentrações investigadas foram preparadas por pesagem direta do óleo em balança analítica. Foram utilizadas as concentrações de 200, 400 e 800 ppm. Para facilitar sua dispersão no meio aquoso, o óleo extraído foi inicialmente solubilizado em acetona P.A (utilizando o menor volume possível, cerca de 2 mL). Em seguida, adicionou-se a solução de NaCl 3,5% até completar o volume final desejado. Após homogeneização, as soluções foram submetidas à filtração para retirar a fase do óleo que não foi completamente solubilizada. Os corpos de prova previamente preparados foram então imersos nas soluções contendo o inibidor, bem como na solução de NaCl 3,5% sem adição de óleo (condição de referência), permanecendo suspensos por fios de nylon, conforme ilustrado na Figura 2. Os ensaios foram realizados em triplicata para períodos de exposição de 1, 3, 5 e 7 dias. Ao término de cada ensaio, os produtos de corrosão foram removidos conforme os procedimentos estabelecidos pela norma ASTM G1-03, e as amostras foram pesadas novamente para determinação da perda de massa. A perda de massa foi determinada pela diferença entre as massas inicial e final dos corpos de prova após a remoção dos produtos de corrosão. A partir desses valores, a taxa de corrosão (TC) foi calculada conforme a norma ASTM G1-03 utilizando a Equação (1):

$$TC = \frac{K.W}{A.T.D} \quad (1)$$

onde TC é a taxa de corrosão ($\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$), K é a constante de conversão ($8,76 \times 10^4$), W é a perda de massa (g), A é a área exposta da amostra (cm^2), T é o tempo de exposição (h) e D é a densidade do aço API 5L ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

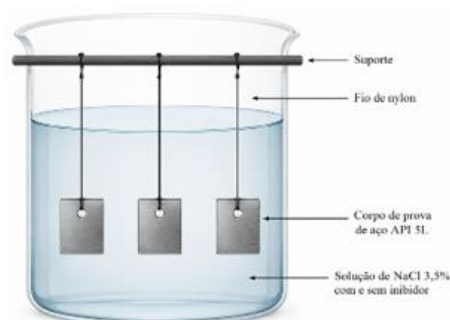


Figura 2: Representação esquemática do ensaio gravimétrico.

A eficiência de inibição (E) do óleo extraído das sementes da mangaba foi determinada a partir das taxas de corrosão obtidas na ausência e na presença do inibidor, conforme a Equação (2):

$$E = \frac{TC_0 - TC_i}{TC_0} \times 100 \quad (2)$$

onde TC_0 corresponde à taxa de corrosão da amostra exposta à solução de NaCl 3,5% sem adição do inibidor e TC_i corresponde à taxa de corrosão obtida na presença do óleo da mangaba.

Caracterização por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A morfologia superficial das amostras foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) após os ensaios de perda de massa na solução de NaCl 3,5% na presença do óleo extraído das sementes da mangaba. A melhor condição de concentração do extrato foi escolhida e a imersão foi realizada durante 1 h para avaliar os estágios iniciais da adsorção das moléculas presentes no óleo sobre a superfície metálica.

As análises foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura JEOL JCM-5700, operando a 5 kV de tensão de aceleração. As imagens foram obtidas utilizando sinal de elétrons secundários, permitindo a avaliação da morfologia de corrosão nas superfícies das amostras. Devido à natureza condutora do substrato metálico, não foi necessária a metalização prévia das amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio gravimétricos

Na Tabela 1 são apresentadas as taxas de corrosão (TC) do aço API 5L e as eficiências (E) do óleo de *Hancornia speciosa* Gomes em três concentrações diferentes após 7 dias de exposição em meio de NaCl 3,5%.

De acordo com os resultados, pode-se observar que, de modo geral, o óleo de *Hancornia speciosa* Gomes não atuou como um inibidor de corrosão altamente eficiente nas condições avaliadas neste estudo. Contudo, vale ressaltar que, na concentração de 200 ppm, a eficiência de inibição foi mais pronunciada, atingindo 47,12%, o que resultou na menor taxa de corrosão observada. Considerando a classificação proposta na literatura, segundo a qual inibidores com eficiência inferior a 40% são considerados pouco eficientes, aqueles com eficiência entre 40% e 69% apresentam eficiência moderada, e valores superiores a 70% caracterizam inibidores excelentes, o óleo de *Hancornia speciosa* Gomes na concentração de 200 ppm pode ser classificado como um inibidor de eficiência moderada nas condições propostas para este estudo (SAVIOUR e SOLOMON, 2017). Esse resultado sugere que, embora o óleo não tenha apresentado desempenho suficiente para ser considerado um excelente inibidor, seus constituintes podem ter promovido uma adsorção parcial sobre a superfície metálica, reduzindo a velocidade das reações corrosivas no meio avaliado.

Tabela 1: Eficiência de inibição e taxa de corrosão do aço API 5L na presença e na ausência do óleo de *Hancornia speciosa* Gomes em meio de NaCl 3,5%.

Conc. (ppm)	TC (mm/ano)	E (%)
0,0	0,1593 ± 0,0078	0
200	0,0851 ± 0,0093	47,12
400	0,1207 ± 0,0147	23,71
800	0,1226 ± 0,0129	17,24

Observa-se ainda que o aumento da concentração do óleo acima de 200 ppm não promoveu incremento da eficiência de inibição. Pelo contrário, verificou-se uma redução gradual da eficiência com o aumento da concentração do inibidor. Esse comportamento indica que a concentração de 200 ppm foi a condição mais favorável dentre aquelas avaliadas, resultando na menor taxa de corrosão e na maior eficiência de inibição. Embora os mecanismos responsáveis por essa tendência não possam ser determinados neste estudo, resultados semelhantes têm sido reportados para inibidores de origem vegetal, nos quais a eficiência não aumenta necessariamente de forma proporcional à concentração do extrato ou óleo utilizado (AL-BALUSHI *et al.*, 2026; SANGTAM *et al.*, 2025).

Trabalhos reportados na literatura mostram um bom desempenho de óleos essenciais e extratos vegetais na proteção contra a corrosão de aços em meio de NaCl. SATHIYANATHAN *et al.* (2005) analisaram o efeito inibidor do extrato de mamona (*Ricinus communis*) sobre o aço em solução de NaCl e observaram

eficiência máxima de aproximadamente 84% para a concentração de 0,3 g/L. Da mesma forma, SHABANI-NOOSHABADI e GHANDCHI (2015), investigaram o comportamento bioinibidor do extrato da *Santolina chamaecyparissus* em meio de NaCl 3,5%, através de diversas técnicas eletroquímicas, e constataram que nas concentrações de 0,1 e 0,2 g/L os efeitos corrosivos foram quase completamente inibidos, alcançando 89% de eficiência. Além desses estudos, vários trabalhos mostram uma boa interação entre o inibidor e a superfície do metal, resultando na formação de filmes adsorvidos capazes de reduzir significativamente a taxa de corrosão (WANG *et al.*, 2024).

A baixa eficiência observada para o óleo de mangaba pode estar relacionada à dificuldade de formação de um filme protetor sobre a superfície do aço. Essa limitação na formação, por sua vez, deve estar associada à baixa solubilidade do óleo no eletrólito (NaCl 3,5%), o que não permite uma adsorção efetiva dos compostos presentes no óleo. Ao adicionar o óleo à solução de NaCl 3,5%, mesmo após sua dissolução prévia em acetona P.A., não foi observada solubilização completa. Parte do óleo permaneceu insolúvel e precisou ser removida durante a etapa de filtração, esse aspecto provavelmente influenciou a concentração efetiva dos compostos ativos presentes no eletrólito, reduzindo a quantidade de moléculas disponíveis para adsorção sobre a superfície metálica. Dessa forma, a eficiência observada pode não representar o potencial máximo do óleo de *Hancornia speciosa* Gomes como inibidor de corrosão e deve ser mais bem analisada em trabalhos futuros. Sabe-se que dentre os diversos compostos orgânicos presentes no óleo de mangaba, tais como ácido palmítico, ácido esteárico, ácido linolênico, fitoesteróis, vitamina E e compostos fenólicos, o ácido oleico (ômega-9) é o componente principal. Com base na estrutura química deste composto, representada na Figura 3, era esperado que o grupo carboxila presente em uma das extremidades da molécula fosse capaz de se ligar à superfície metálica através de processos de adsorção. Após a adsorção da extremidade polar da molécula, a longa cadeia hidrocarbonada apolar composta por dezoito átomos de carbono tende a se orientar para o eletrólito, formando uma barreira hidrofóbica capaz de impedir que moléculas de água e outros agentes corrosivos, tais como oxigênio dissolvido e íons cloreto, ataquem a superfície do metal. Além disso, os demais compostos presentes no óleo poderiam estar contribuindo para a eficiência da inibição através de um efeito sinérgico, aumentando a cobertura superficial e favorecendo a estabilidade do filme adsorvido.



Figura 3: Estrutura química do ácido Oleico.

Caracterização da superfície

Com o objetivo de compreender melhor a interação do óleo de *Hancornia speciosa Gomes* com a superfície do aço API 5L em meio de NaCl 3,5%, foram realizadas análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) na ausência e na presença do inibidor. A Figura 4 apresenta micrografias da superfície do aço antes da exposição ao meio corrosivo. Observam-se predominantemente as ranhuras provenientes do processo de lixamento, além de pequenas descontinuidades superficiais provavelmente associadas ao arrancamento localizado de material durante a preparação metalográfica.

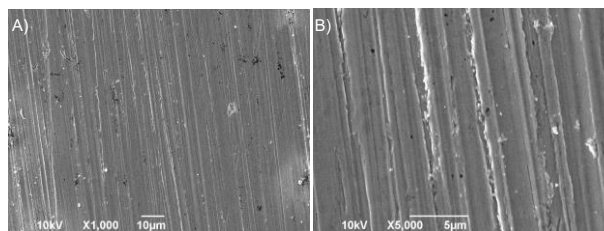


Figura 4. Microscopia do aço API 5L após preparação por lixamento antes da exposição ao meio NaCl 3,5%. (A) magnificação 1000x e; (B) magnificação 5000x.

A Figura 5 apresenta a superfície do aço API 5L após 1 h de imersão em solução de NaCl 3,5% na ausência do óleo de *Hancornia speciosa Gomes*. O tempo de imersão de 1 h foi selecionado para avaliar os estágios iniciais dos processos de adsorção e formação de produtos superficiais decorrentes da interação entre o metal e o meio corrosivo. Observa-se a presença de regiões com morfologia irregular e aspecto rugoso quando comparadas à superfície lixada apresentada na Figura 4. Além disso, são observadas partículas depositadas sobre a superfície, possivelmente associadas à precipitação de sais presentes no eletrólito e/ou à formação inicial de produtos de corrosão. A rugosidade observada sugere a ocorrência de processos corrosivos já nos estágios iniciais da exposição ao meio contendo íons cloreto, os quais são conhecidos por acelerar a degradação de aços carbono devido à sua capacidade de desestabilizar filmes superficiais naturalmente formados.

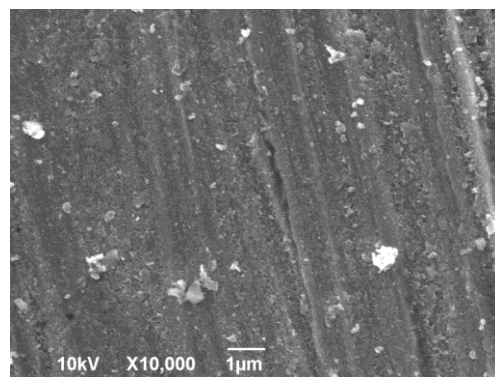


Figura 5. Micrografia da superfície do aço API 5L após imersão em NaCl 3,5% durante 1 h.

Com base nos resultados dos ensaios gravimétricos, a concentração de 200 ppm foi selecionada para caracterização da superfície metálica por MEV, uma vez que apresentou a maior eficiência de inibição (47,12%). Para essa análise, a amostra foi imersa durante 1 h em solução de NaCl 3,5% contendo o óleo de mangaba e o resultado é mostrado na Figura 6.

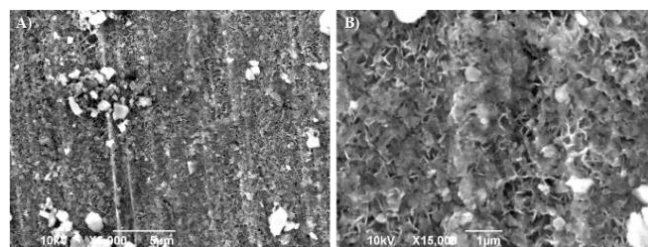


Figura 6. Micrografia da superfície do aço API 5L após imersão em NaCl 3,5% contendo 200 ppm de óleo da mangaba durante 1 h. (A) magnificação 10000x e (B) magnificação 15000x.

Nas Figuras 6.A e 6.B observa-se uma morfologia superficial distinta daquela apresentada na ausência do inibidor (Figura 5). A superfície apresenta regiões aparentemente recobertas por uma camada adicional, sugerindo a adsorção de compostos orgânicos presentes no óleo sobre o substrato metálico. Essa camada superficial parece atuar como uma barreira física parcial entre o eletrólito e o aço, reduzindo a exposição direta da superfície aos íons agressivos presentes na solução. Além disso, observa-se uma diminuição da rugosidade superficial em determinadas regiões quando comparada à amostra exposta na ausência do inibidor, evidenciando uma possível contribuição do filme orgânico na mitigação dos processos corrosivos. Entretanto, a análise em maior aumento (Figura 6.B) revela que essa camada não é contínua e não recobre uniformemente toda a superfície metálica, mas apresenta cobertura parcial, deixando outra parte da superfície exposta ao eletrólito. Essa heterogeneidade indica que o filme formado apresenta baixa compactidade e reduzido grau de cobertura superficial, permitindo a penetração do eletrólito através de regiões desprotegidas. Como



consequência, o efeito barreira promovido pelo óleo torna-se limitado, justificando a eficiência de inibição relativamente baixa observada nos ensaios gravimétricos.

Dessa forma, os resultados de MEV reforçam que o óleo de mangaba apresenta capacidade limitada de adsorção sobre a superfície do aço API 5L em meio de NaCl 3,5%, formando um filme protetor descontínuo e pouco estável, o que explica os valores moderados de eficiência obtidos nos ensaios gravimétricos.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

- O óleo extraído das sementes de *Hancornia speciosa* Gomes apresenta baixa solubilidade em meio de NaCl 3,5%, o que limita a dispersão dos compostos ativos no eletrólito e reduz sua disponibilidade para adsorção sobre a superfície metálica;
- Os ensaios gravimétricos mostraram que, nas condições avaliadas, o óleo da mangaba apresentou baixa eficiência como inibidor ecológico de corrosão para o aço API 5L em meio de NaCl 3,5%. A maior eficiência de inibição foi obtida para a concentração de 200 ppm, alcançando 47,12%, indicando a existência de uma concentração ótima para a atuação do inibidor.
- As análises por microscopia eletrônica de varredura corroboraram os resultados gravimétricos, sugerindo a formação de um filme superficial sobre a camada de produtos de corrosão. Entretanto, esse filme apresentou cobertura descontínua e heterogênea, deixando regiões da superfície expostas ao eletrólito, o que provavelmente favoreceu a continuidade dos processos corrosivos e explica a limitada eficiência observada para o óleo da mangaba.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Condomínio de Laboratórios Multiusuários do Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (CLMDCM).

REFERÊNCIAS

- AL-BALUSHI, A.; AL-MAHROUQI, A.; KHAN, I.; KHUDAISH, E.; AL-NAFAI, I. Electrochemical analytical investigation of the corrosion inhibition efficiency of choline-based green ionic liquids in protecting mild steel structures. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, v. 1015, p. 120276, 2026.
- ASTM INTERNATIONAL. *ASTM G1-03: Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2022.

BENTISS, F., LAGRENEE, M., TRAISNEL, M. and HORNEZ, J. C. The corrosion inhibition of mild steel in acidic media by a new triazole derivative. *Corrosion science*, v.41 (1999) 789-803.

ESSIEN, G. P.; UVIASE, S. O.; OGHENERUKEVWE, P. O.; OREKO, B. U.; EDWARD, A. B.; IKWE, E.; ADEPOJU, P. O.; IKIKIRU, D. F.; ADEPOJU, T. F.; USEN, I. U. Isapa leaf extract in tri-blends acid solution for corrosion control of carbon steel (API: 5LX70) in oil and gas industries and its process optimization. *Next Materials*, v. 12, p. 102038, 2026.

GHEHSAREH, Z., SAYAH, T., MOHARRAMNEJAD, M., et al. Green guardians: A comprehensive review of environmentally friendly corrosion inhibitors from plant extract to ionic-liquids in industrial applications. *Progress in organic coatings*, 201 (2025) 109146.

IWATT, M. U.; AKAN, O. D.; ETIM, I. N. Emerging mitigation techniques for microbially influenced corrosion in the oil and gas industry. *The Microbe*, v. 11, p. 100702, 2026.

LI, X.; DENG, S. Inhibition effect of *Dendrocalamus brandisii* leaves extract on aluminum in HCl and H₃PO₄ solutions. *Corrosion Science*, v. 65, p. 299–308, 2012.

LOTO, R. T., UYANWUNE, O.U., OLUWASESAN, A. O., et al. Evaluation of Vitis Vinifera seed oil as a green corrosion inhibitor for high-carbon steel and ferrovanadium alloys in sulfuric acid. *International Journal of Electrochemical Science*, v. 20, p. 100936, 2025.

MACEDO, M. C. S. S., BARCIA, O.E., DA SILVA, E. C., et al. Iron Corrosion Inhibition by Imidazoles in 3.5% NaCl Medium: Experimental and Theoretical Results. *Journal of The Electrochemical Society*, v. 159, n. 4, p. C160, 2012.

MAIZIA, R., DJERMOUNE, A., AMOURA, DAMIA., et al. Bidens aurea aiton plant extract as a green and sustainable corrosion inhibitor for carbon steel X42 in hydrochloric acidic medium/; Experimental and computational studies. *Materials Chemistry and Physics*, v. 339, p. 130740, 2025.

NARAIN, N.; BORA, P. S.; HOLSCHUH, H. J.; VASCONCELOS, M. A. S. Physical and chemical composition of mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) fruits. *Food Chemistry*, v. 54, p. 147–152, 1995.

PARANGUSAN, H., SLIEM, M. H., ABDULLAH, A. M., et al. Plant extract as green corrosion inhibitors for carbon steel substrate in different environments: A systematic review. *International*



- Journal of Electrochemical Science*, v. 20, p. 100919, 2025.
- RAJA, P. B.; SETHURAMAN, M. G. Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media: A review. *Materials Letters*, v. 62, n. 1, p. 113–116, 2008.
- SANGTAM, T.; LONGKUMER, L.; VENUH, V.; et al. Eco-friendly corrosion inhibition: a review on the extraction and testing of plant-based inhibitors. *Chemical Papers*, v. 79, p. 8253–8280, 2025.
- SATHIYANATHAN, R. A. L.; MARUTHAMUTHU, S.; SELVANAYAGAM, M.; MOHANAN, S.; PALANISWAMY, N. Corrosion inhibition of mild steel by ethanolic extracts of *Ricinus communis* leaves. *Indian J. Chem. Technol.*, v. 12, n. 3, p. 356–360, 2005.
- SHABANI-NOOSHABADI, M.; GHANDCHI, M. S. *Santolina chamaecyparissus* extract as a natural source inhibitor for 304 stainless steel corrosion in 3.5% NaCl. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 31, p. 231–237, 2015.
- SHANG, Z.; ZHU, J. Overview on plant extracts as green corrosion inhibitors in the oil and gas fields. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 15, p. 5078–5094, 2021.
- SILVA JÚNIOR, J. F.; LÉDO, A. S. *A cultura da mangaba*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006.
- THACKER, H.; RAM, V. Green corrosion inhibitors derived from plant extracts and drugs for mild steel in acid media: A review. *Results in Surfaces and Interfaces*, v. 18, p. 100364, 2025.
- UMOREN, S. A.; SOLOMON, M. M. Synergistic corrosion inhibition effect of metal cations and mixtures of organic compounds: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 5, n. 1, p. 246–273, 2017.
- ZHANG, Q.H. *Artemisia verlotiorum* extract as green corrosion inhibitor for enhanced corrosion resistance of mild steel in acidic solution. *Journal of Molecular Liquids*, v. 419, p. 126811, 2025.
- WANG, X., LIU, J., JIN, M., et al. A review of organic corrosion inhibitors for resistance under chloride attacks in reinforced concrete: Background, Mechanisms and Evaluation methods”. *Construction and Building Materials*, v. 433 p. 136583, 2024.