



ANÁLISE DO EUGENOL E DO ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO DA ÍNDIA COMO INIBIDORES DE CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL 304 EM MEIO DE ÁCIDO CLORÍDRICO

Thalita A. F. Mota¹ (G), Letícia F. Araújo¹ (PG), Lucas B. Fares¹ (G), Mayara S. V. Silva¹ (PG), Tiago A. Silva¹ (PQ), Patrícia F. Pinheiro^{1*} (PQ)

¹ Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs
Campus Universitário, 36570-900, Viçosa, MG, Brasil.

*e-mail:patricia.pinheiro@ufv.br

RESUMO

O óleo essencial de cravo-da-índia é um extrato natural dos botões florais e folhas do *Syzygium aromaticum*, de cor amarelada, odor característico, insolúvel em água, sem toxicidade considerável, sustentável e barato. Seu principal componente é o eugenol (70-90%), composto aromático com grupos hidroxila, metoxila e cadeia alílica. Devido à sua estrutura aromática e grupos oxigenados e nitrogenados, o eugenol adsorve-se facilmente em superfícies metálicas como o aço inox 304, formando película protetora contra corrosão. Os testes de inibição foram realizados com aço inox 304 em HCl 1,0 mol L⁻¹, utilizando medidas Potencial de Circuito Aberto (OCP) e Curva de Polarização Potenciodinâmica. Os ensaios eletroquímicos foram feitos na presença do surfactante Tween 20 para solubilização. A concentração otimizada foi de 500 ppm, resultando em 90% de inibição para o eugenol e 75% para o óleo essencial.

Palavras-chave: corrosão, inibidor, óleo essencial de cravo-da-índia, eugenol, aço inoxidável 304.

Introdução

A produção de aço tem aumentado nos últimos anos devido às suas amplas aplicações como nas construções civis e indústrias de petróleo (1). Esse aumento pode ser atribuído à sua inércia química, resistência, disponibilidade e baixo custo. Entretanto, o aço é suscetível à corrosão (2), um processo espontâneo e natural de degradação dos materiais, resultante de reações de oxirredução (3). Para mitigar esse processo, diferentes inibidores de corrosão vêm sendo estudados. Entre eles, óleos essenciais e extratos naturais têm se destacado, pois apesar de serem insolúveis em água, são ecologicamente sustentáveis, de baixo custo, fácil obtenção, baixa toxicidade e apresentarem eficiência inibitória (3,4,5). Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do eugenol e do óleo essencial do cravo-da-índia como possíveis inibidores de corrosão para o aço inoxidável 304 em meio ácido.

Experimental

Extração do óleo essencial do cravo-da-índia

O óleo essencial foi extraído a partir dos botões florais secos de *Syzygium aromaticum*, comercializados pela marca “Viçosa”. Para a extração do óleo essencial, 40 g dos botões secos do cravo foram submetidos à hidrodestilação usando Clevenger modificado por 3 horas em 250 mL de água destilada. A extração foi realizada em triplicata, totalizando 120 g de cravo.

O óleo essencial foi separado do material aquoso obtido após a destilação por extração líquido-líquido com diclorometano (3 x 10

mL), seco com sulfato de sódio anidro, filtrado e a remoção do solvente foi realizada em rotaevaporador, desse modo, obtendo o óleo essencial puro. A caracterização foi realizada por Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG-EM).

Ensaio de corrosão

Para os ensaios de corrosão foram preparadas soluções de HCl (1,0 mol.L⁻¹) e HCl com Tween 20 (500 ppm). A solução de eugenol 500 ppm, e a solução com óleo essencial de cravo-da-índia 500 ppm foram preparadas com a solução de HCl contendo Tween 20 (500 ppm).

Para os ensaios de corrosão, eletrodos de aço inoxidável AISI 304 foram lixados com lixa d'água grão 1200, e polidos com suspensão de alumina 1 µm, seguidos de limpeza em banho ultrassônico com água deionizada e, posteriormente, etanol 70%.

No potenciostato (PGSTAT204), foram realizadas análises de potencial de circuito aberto (OCP, do inglês “Open Circuit Potential”) por 1h e, em seguida foi executada a voltametria de varredura linear (LSV, do inglês “Linear Sweep Voltammetry”) com velocidade de varredura de 1,0 mV s⁻¹, no intervalo de potenciais de -0,55 V a 0,0 V. Uma célula de três eletrodos foi utilizada, consistindo em: aço inoxidável AISI 304 (trabalho, área de 0,44 cm²), placa de platina (contra eletrodo) e eletrodo de referência de Ag/AgCl (KCl 3,0 mol L⁻¹).



Resultados e Discussão

O rendimento da extração do óleo essencial foi de 9,3%. A partir da análise por CG-EM do óleo essencial do Cravo-da-Índia, foram identificados quatro compostos, sendo o Eugenol o majoritário. Observa-se que os resultados estão coerentes com os descritos anteriormente na literatura (6). Os dados obtidos nesse estudo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados obtidos a partir de CG-EM para a composição química do óleo essencial de cravo-da-índia.

TR/min	Composto	IRL calc.	IRL Adams	Área/%
30,38	Eugenol	1357	1356	73,30
30,96	α -Copaeno	1370	1374	20,25
32,90	β -Cariofileno	1414	1408	2,24
34,31	α -Humuleno	1446	1452	4,21

TR = tempo de retenção; IRL = Índice de retenção linear

Como pode ser observado na Tabela 2 e Figura 1, os dados obtidos pelo OCP e das curvas de polarização, foi observado que ambos os inibidores promoveram um deslocamento do potencial de corrosão para valores menos negativos, indicando uma menor tendência à oxidação.

O eugenol apresentou maior eficiência inibitória, com 90% de inibição, em comparação ao óleo essencial de cravo, que apresentou 75,2%. Essa diferença pode ser atribuída à presença de outros constituintes no óleo essencial que reduzem sua capacidade de adsorção na superfície metálica. Os três principais compostos adicionais não possuem anéis aromáticos nem heteroátomos, características estruturais que favorecem a interação com o metal. Dessa forma, a menor eficiência do óleo essencial pode ser explicada pela competição entre seus constituintes pela adsorção, comprometendo a formação de uma camada protetora contínua e eficiente.

Tabela 2. Resultados a partir do OCP e das curvas de polarização para o aço inoxidável 304 em meio de HCl 1 mol L⁻¹

Inibidor	OCP (mV)	E _{corr} (mV)	j _{corr} (μA/cm ²)	I (%) [*]	RP (Ω)
HCl 1mol L ⁻¹	-364,5	-361,5	45,3	-	618
Eugenol 500 ppm	-333,0	-332,3	13,6	90,0	1913,7
Óleo de Cravo-da-Índia 500 ppm	333,5	-332,3	16,9	75,2	1647,3

A eficiência de inibição (I (%)) foi calculada usando a equação:

$$*I(\%) = \left[\frac{(j_{corr}^0 - j_{corr}^i)}{j_{corr}^0} \right] \times 100, \text{ onde } j_{corr}^0 \text{ e } j_{corr}^i \text{ representam as densidades de corrente de corrosão na ausência e presença do inibidor, respectivamente.}$$

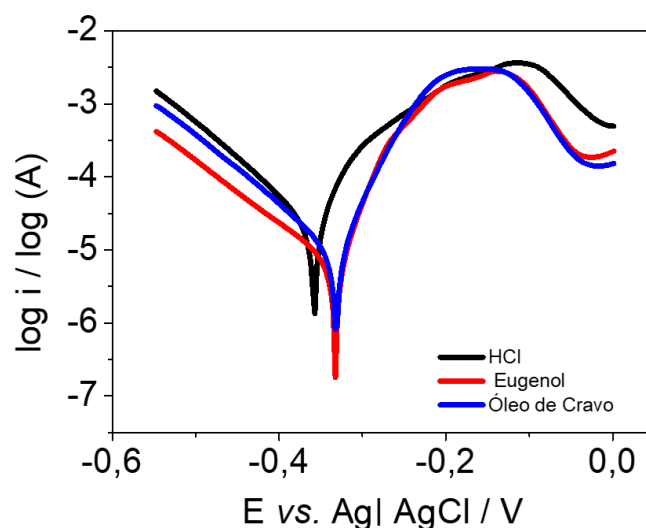


Figura 1. Curva de polarização potenciodinâmica obtida para aço inox 304 em diferentes meios.

Conclusões

O óleo essencial foi obtido por hidrodestilação e analisado por GC-MS, revelando o eugenol como composto majoritário. Os ensaios eletroquímicos, realizados por OCP e LSV, mostraram que ambos os inibidores diminuíram a tendência de corrosão da superfície metálica. O eugenol isolado apresentou maior eficiência de inibição, resultado atribuído à presença de anel aromático e heteroátomos. A presença de outros compostos no óleo essencial, sem essas estruturas, possivelmente gerou competição por adsorção, reduzindo seu efeito protetor.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos laboratórios LAPEN e LAMOB pelo apoio nas pesquisas. Agradecemos também à FAPEMIG e à CAPES pelo apoio financeiro.

Referências

1. B. A. Abd-El-Nabey et al. International journal of electrochemical science, v. 19, n. 8, p. 100695, 2024.
2. R. T. Loto; T.Olukeye; E. Okorie, South African journal of chemical engineering, v. 30, p. 28–41, 2019.
3. D. S. Chauhan; C. Verma; M. A. Quraishi. Journal of molecular structure, v. 1227, n. 129374, p. 129374, 2021.
4. M. Bathily, et al. American journal of applied chemistry, v. 9, n. 3, p. 65, 2021
5. L. B. Furtado et al. Materials research, v. 25, 2022.
6. . M. A. Selles et al. Journal of food measurement and characterization, v. 14, n. 5, p. 2352–2358, 2020