

# Uso sustentável do óleo de *Elaeis guineensis* contra corrosão utilizado em sistemas de refrigeração contendo cobre

Marcos Paulo Simões Barbosa <sup>1\*</sup>   
Carmem Célia Francisco do Nascimento <sup>1</sup> 

## Resumo

A corrosão das serpentinas de cobre presente em aparelhos de refrigeração causa inúmeros problemas de ordem técnica e ambiental, como vazamento do gás refrigerante, que faz parte do grupo de gases de efeito estufa, perda de eficiência, redução da vida útil e aumento do consumo de energia elétrica. Neste diapasão, o objetivo deste trabalho é avaliar o potencial inibidor de um verniz orgânico com adição de diversas concentrações de *Elaeis guineensis* aplicado em tubulações de cobre utilizadas em sistemas de ar condicionado. Nesta perspectiva, a tubulação foi pintada com o verniz orgânico misturado ao óleo de *Elaeis guineensis* com diferentes concentrações e submetida a ensaios de impedância eletroquímica e polarização potenciodinâmica em meio contendo cloreto de sódio (NaCl) na concentração de 3,5% para avaliar o potencial inibidor da solução e a taxa de corrosão do metal, respectivamente. Os resultados mostram que a mistura do óleo de *Elaeis guineensis* ao verniz orgânico é eficiente na inibição de corrosão do cobre em ambientes de alta salinidade pela formação de uma barreira física entre o metal e o meio corrosivo. A maior eficiência foi 99,60% de redução da corrosão, valor obtido pela concentração de 150 ppm de óleo de *Elaeis guineensis*.

**Palavras-chave:** Cobre; *Elaeis guineensis*; Ar condicionado; Corrosão.

## Sustainable use of *Elaeis guineensis* oil against corrosion in copper-containing refrigeration systems

## Abstract

Corrosion of copper in coils from refrigeration systems causes numerous technical and environmental problems, such as refrigerant gas leakage, which is considered a greenhouse gas. It leads to a reduction in efficiency and lifetime operation of the system, as well as an increase in energy consumption. In this study, the objective was to evaluate the inhibitory potential of an organic varnish with the addition of varying concentrations of *Elaeis guineensis* oil when applied to a copper tube used in air conditioning systems. The tubes were coated with the organic varnish mixed with *Elaeis guineensis* oil at different concentrations and subjected to electrochemical impedance and potentiodynamic polarization tests in a 3.5% sodium chloride (NaCl) solution. These tests aimed to evaluate the inhibitory potential of the solution and the corrosion rate of the metal, respectively. The results shown that the addition of *Elaeis guineensis* oil to the organic varnish is highly effective in inhibiting copper corrosion in high-salted environments, as it creates a physical barrier between the metal and the corrosive medium. The highest efficiency was achieved with a concentration of 150 ppm *Elaeis guineensis* oil, resulting in a corrosion reduction rate of 99.60%.

**Keywords:** Copper; *Elaeis guineensis*; Air conditioning; Corrosion.

## 1 Introdução

O cobre é um metal nobre de transição, de cor avermelhada, muito versátil, com excelente condutividade elétrica e térmica, resistência à corrosão, facilidade de fabricação, boa resistência mecânica, ductilidade e maleabilidade [1-3]. Devido a esta gama de propriedades, possui inúmeras aplicações como

indústria, geração e transmissão de energia, motores, placas solares, ornamentação e tubulações, sobretudo de água e de sistemas de refrigeração [4].

Segundo Beitelman e Drozd [5], o cobre é o material mais utilizado na fabricação de serpentinas de

<sup>1</sup>Departamento de Mecânica e Materiais, Instituto Federal do Maranhão, IFMA, São Luís, MA, Brasil.

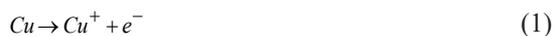
\*Autor correspondente: marcos.barbosa@acad.ifma.edu.br



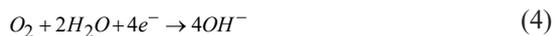
trocadores de calor. Essa ampla utilização em sistemas de climatização ocorre pelo fato de o metal apresentar, além das propriedades já citadas, resistência a pressões internas em temperaturas elevadas, não liberar de gases tóxicos, possuir baixa inflamabilidade, facilidade de manuseio e transporte, soldabilidade, boa deformação plástica, e resistência a variações de temperaturas, oxidação e intempéries [3].

Contudo, a maioria dos problemas associado ao uso destas tubulações ocorrem devido à corrosão do cobre, que causa o vazamento do gás refrigerante e a consequente redução da eficiência do equipamento [6]. De acordo com Bhatia [7], os principais tipos de corrosão que ocorrem em tubulações de cobre de ar condicionado são a galvânica, por pites ou generalizada.

As reações anódicas de corrosão do cobre em meio salino com NaCl (1-3) são apresentadas por Costa [8]. Observa-se que em (1), o cobre sofre uma primeira oxidação, causando a liberação de íons  $\text{Cu}^+$ , que se ligam aos íons  $\text{Cl}^-$ , produzindo um composto intermediário, solúvel, o cloreto cuproso ( $\text{CuCl}$ ) (2). Devido à instabilidade do  $\text{CuCl}$ , ele se dissolve e reage novamente com os íons cloreto (3), formando o completo de íons  $\text{CuCl}_2^-$  [2,8].



Ainda, segundo Costa [8], duas reações catódicas são possíveis, a redução do oxigênio e a evolução do hidrogênio, neste caso, aplica-se apenas a primeira (4).



A prevenção da corrosão no cobre, principalmente por pites, se dá pela utilização de um filme protetor. Contudo, no caso de sistemas de refrigeração, no qual há troca de calor nas tubulações, algumas características devem ser levadas em conta na seleção deste filme para reduzir o impacto na performance do equipamento. São elas: espessura adequada, flexibilidade e resistência a impactos, radiação ultravioleta e umidade [7].

A seleção de um extrato natural para utilização como inibidor de corrosão deve levar em consideração alguns fatores como o mecanismo de corrosão que se busca inibir, o metal a ser protegido, o princípio ativo do inibidor, nível de toxicidade, o efeito da utilização na saúde das pessoas, armazenagem, interação com o ambiente e as condições de aplicação, dentre elas: método de aplicação, espessura da camada, temperatura, umidade, pressão, pH, geometria do sistema, concentração, solubilidade etc [9,10].

A *Elaeis guineenses* é uma planta comum na África Central e no sudeste asiático. O óleo produzido a partir da palma é rico em gorduras saturadas, composto igualmente

de ácidos graxos saturados e insaturados, com aplicação no ramo alimentício, na indústria de cosméticos, na produção de velas, sabões e biodiesel, dentre outros [11,12].

Dentre os constituintes do óleo de *Elaeis guineenses*, se destaca a lignina, que é um polímero natural com estrutura molecular complexa, composta de moléculas de C6 – C3 e diversos grupos funcionais como carboxilas, carbonilas e hidroxilas alifáticas e fenólicas, com elevado peso molecular [13].

Diversos estudos foram realizados para analisar o efeito inibidor do óleo de *Elaeis guineenses* em diversos metais em meio alcalino. Como exemplo, o óleo de *Elaeis guineenses* se mostrou eficiente na redução da corrosão de uma liga de AA6063 Al-Mg-Si [12], do aço carbono [11,14,15], do cobre [16] e do aço inoxidável [17].

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar o potencial inibidor de um verniz orgânico misturado ao óleo de *Elaeis guineenses* em várias concentrações aplicado na superfície de tubos de cobre utilizados em sistemas de climatização, expostos a um meio de alta salinidade com 3,5% NaCl. Diante disto, foram realizados testes de impedância eletroquímica e polarização potenciodinâmica para caracterizar o potencial inibidor da camada protetora de verniz, e o potencial e taxa de corrosão do material.

## 2 Materiais e métodos

### 2.1 Materiais e preparação de amostras

Neste trabalho foi utilizada uma tubulação de cobre utilizada em sistemas de climatização composta de 99,9% de cobre e 0,015% a 0,040% de fósforo, consoante a norma NBR 7541 [18].

O verniz utilizado é um polímero solúvel em água com densidade de 1,02 g/cm<sup>3</sup>, ponto de fulgor de 100 °C, pH 9 e viscosidade cinemática de 404,50 mm<sup>2</sup>/s, de acordo com a fabricante [19].

O óleo de *Elaeis guineenses*, segundo a fabricante [20], foi produzido por prensagem mecânica utilizando apenas produtos naturais no processamento. São características do óleo o aspecto líquido ou de sólido pastoso a depender da temperatura, cor amarelada, densidade variando entre 0,895 e 0,920 g/ml e ponto de fusão médio de 36,5 °C. A viscosidade dinâmica, medida por um viscosímetro BROOKFIELD DV III ULTRA, com taxa de cisalhamento de 58 s<sup>-1</sup> e rotação de 200 RPM, temperatura de 25 °C, é 213,60 mPas. O pH 5 foi medido utilizando fitas indicadoras de pH.

Antes da preparação das misturas de verniz e óleo de *Elaeis guineenses*, o verniz foi diluído em água na proporção de 5:1, conforme indicação do fabricante [19]. Em seguida, o óleo foi adicionado até atingir as concentrações de 50, 100 e 150 ppm, baseado no trabalho de Gonzalez-Rodriguez et al. [16].

Em seguida, foram medidas a condutividade elétrica e o pH das soluções, na temperatura de 25 °C, usando um

condutivímetro portátil CG1400 Gehaka e o pHmetro PG 2000 Gehaka respectivamente. Na Tabela 1 são mostrados os valores obtidos nas medições.

As amostras de cobre foram cortadas de um tubo com 3/8” de diâmetro, com comprimento de 2,00 cm cada. Antes da pintura com os vernizes, foram lixadas com lixas nas granulometrias de 320, 400, 600, 800 e 1200, lavadas com água destiladas e secas utilizando compressor de ar.

Após a preparação, as amostras foram pintadas com os vernizes, utilizando um spray, e deixadas para secar por 24 horas. Na Figura 1 são apresentadas as amostras após o período de secagem. Para comparação dos resultados, foram preparadas amostras sem pintura, pintada com verniz sem adição do óleo de *Elaeis guineenses*, e pintadas com verniz misturado ao óleo de *Elaeis guineenses* nas concentrações de 50, 100 e 150 ppm. A espessura média da camada de verniz nas amostras foi de 47 µm. As medidas foram realizadas a partir da análise de imagens, utilizando o software ImageJ.

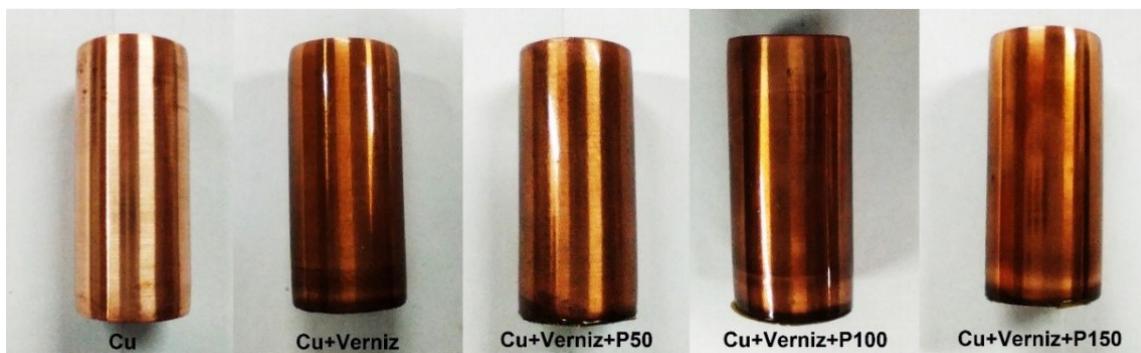
## 2.2 Ensaios eletroquímicos

Os ensaios de polarização potenciodinâmica e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) foram realizados em um potenciostato AUTOLAB PGSTAT302N. A célula eletroquímica utilizada composta de três eletrodos, sendo o eletrodo de referência saturado de calomelano (Hg|Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>|KCl(3M)), contra eletrodo de platina e eletrodo de trabalho de cobre. A área do eletrodo de trabalho exposta ao eletrólito de NaCl 3,5%, com auxílio de uma borracha adaptada, foi de 0,449 cm<sup>2</sup>.

**Tabela 1.** Condutividade elétrica e pH do verniz e soluções de verniz e óleo de *Elaeis guineenses*

Amostra	pH	Condutividade Elétrica (mS/cm)
Verniz	8,71	2,27
Verniz+P50	8,80	2,33
Verniz+P100	8,96	2,52
Verniz+P150	8,84	2,27

P50, P100 e P150 referem-se às concentrações de óleo de *Elaeis guineenses* adicionadas ao verniz, 50, 100 e 150 ppm, respectivamente.



**Figura 1.** Amostras de cobre.

Os ensaios de polarização utilizaram taxa de varredura de 1 mV/s num intervalo de ± 3mV com relação ao potencial de circuito aberto (V<sub>ocp</sub>). Os ensaios de EIS foram realizados após estabilização do potencial de circuito aberto por 3600 s, com amplitude de 10 mV e 10 pontos por década. A faixa de frequência utilizada variou de 100 kHz até 1 mHz [8,17,21]. Após os ensaios, foi obtido o circuito elétrico equivalente com melhor ajuste às curvas e seus parâmetros. Os dados foram obtidos pelo software NOVA 2.1.6.

Para avaliar o efeito inibidor do óleo de *Elaeis guineenses*, foi empregado nos gráficos de polarização potenciodinâmica o método de extrapolação de Taffel, a partir do qual foi possível obter a densidade de corrente e calcular a eficiência de inibição conforme a Equação 5.

$$EI(\%) = \left[ \frac{I_0 - I_{inibidor}}{I_0} \right] \times 100 \quad (5)$$

Onde I<sub>0</sub> e I<sub>inibidor</sub> são a densidade de corrente do cobre sem e com verniz, respectivamente.

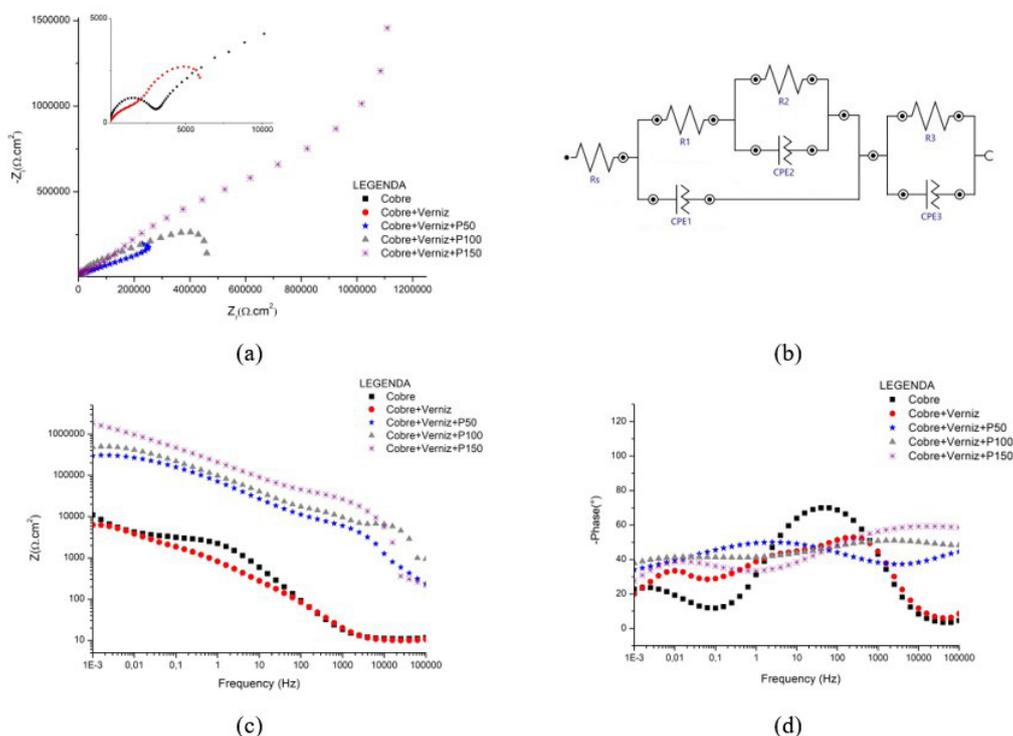
## 2.3 Espectroscopia infravermelho por transformada de Fourier – FTIR

Os espectros de infravermelho do verniz e das soluções de verniz com óleo de *Elaeis guineenses* foram realizados em um espectrofotômetro de FTIR IRAffinity-1 Shamadzu, utilizando a técnica ATR (reflexão total atenuada) com as seguintes condições: transmitância (T%) variando de 4700 a 340 cm<sup>-1</sup> e 68 leituras com resolução 4.0. Não foi necessário corrigir a linha de base. Os dados obtidos foram plotados utilizando a ferramenta Origin 8.5.

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Espectroscopia de impedância eletroquímica – EIS

As medições de impedância foram realizadas após a estabilização do potencial de circuito aberto, com as amostras de cobre expostas superficialmente ao eletrólito, NaCl 3,5%. Na Figura 2 são apresentados os diagramas de Nyquist para



**Figura 2.** (a) Diagrama de Nyquist, (b) circuito equivalente, Diagramas de Bode (c) impedância e (d) fase das amostras de cobre com e sem verniz e óleo de *Elaeis guineenses* nas concentrações de 50, 100 e 150 ppm.

as amostras de cobre com e sem verniz, bem como para as amostras pintadas com verniz e óleo de *Elaeis guineenses* nas concentrações estudadas.

O diâmetro do semicírculo está diretamente associado à variação da impedância do sistema, de forma que quanto maior esse semicírculo, maior será o poder de inibição de corrosão da substância sob a superfície metálica [16]. Observa-se na Figura 2a que o diâmetro do semicírculo da impedância cresceu conforme se aumentou a quantidade de óleo de *Elaeis guineenses* no verniz, sendo a concentração de 150 ppm aquela que apresentou o melhor resultado. Esse desempenho está associado a maior solubilidade e homogeneidade da solução, maior concentração do inibidor, além da combinação de um pH alcalino e baixa condutividade elétrica, conforme mostrado na Tabela 1.

Ademais, o espectro de impedância da mistura verniz com óleo de *Elaeis guineenses* na concentração de 150 ppm apresentou um formato diferente das demais, indicando que o mecanismo de corrosão em ação no metal foi diferente para cada amostra [16]. Esse comportamento diferenciado é justificável pelas diferentes espessuras da camada protetora e pelas propriedades químicas da tinta e do verniz, além do nível de adsorção da camada na superfície do metal.

Na Figura 2c e 2d, são mostrados os diagramas de Bode da impedância e de fase para as amostras. Em 2(c), observa-se a não formação de platô de impedância na região de altas frequências ( $f > 1000$  Hz) para as amostras com verniz, indicando que a impedância é uma variável

dependente da frequência, evidenciando a adsorção do inibidor na superfície do metal, formando uma barreira ao contato com o meio corrosivo [11].

Na Figura 2d, observa-se a presença de duas constantes de tempo, uma delas na região de baixa frequência ( $f < 0,1$  Hz), e a outra na região de alta frequência ( $f > 1$  kHz), representando, respectivamente, a ocorrência do processo de difusão entre a amostra e o meio corrosivo, e a adsorção do verniz e do óleo ao substrato metálico, indicando a efetividade da camada de verniz na proteção da corrosão e a presença de processo difusivo, respectivamente [1,11].

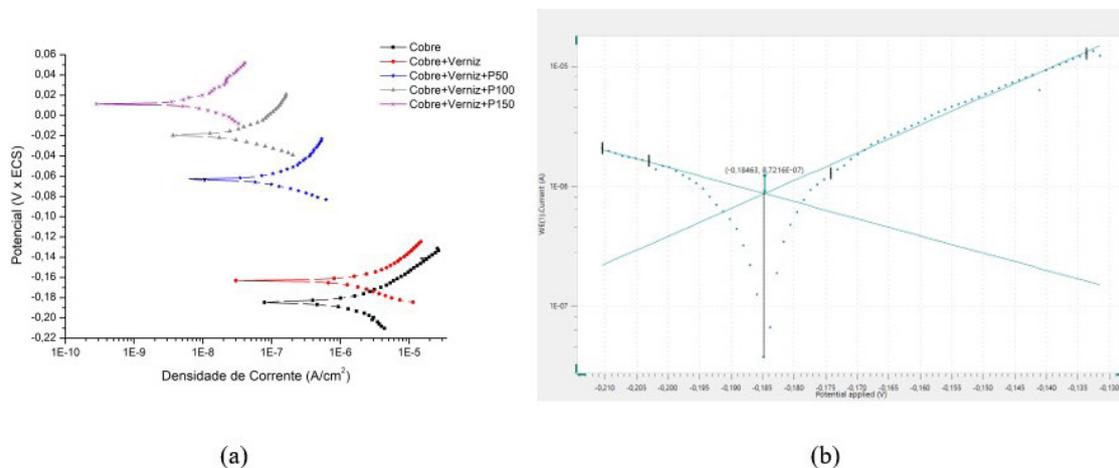
Na Figura 2b é apresentado o circuito equivalente obtido para os ensaios eletroquímicos realizados.  $R_s$ ,  $R_1$  e  $CPE_1$  representam a resistência do eletrólito, a resistência e a capacitância da camada protetora.  $R_2$  e  $CPE_2$  expressam a resistência à transferência de carga e capacitância da camada dupla, e  $R_3$  e  $CPE_3$  representam a resistência e a capacitância associadas a formação de óxido no substrato. Na Tabela 2 são apresentados os dados obtidos a partir da análise dos circuitos equivalentes.

Dos dados apresentados na Tabela 2, observa-se que a resistência da camada protetora ( $R_1$ ) formada pela mistura de verniz com óleo de palma aumentou conforme se aumentou a concentração de óleo de palma na solução, atingindo o maior valor para a concentração de 150 ppm, com resistência de  $1,10$  M $\Omega$ , indicando maior estabilidade química da mistura, implicando em melhor adesão da camada ao substrato. Ademais, a maior resistência é consequência da

**Tabela 2.** Parâmetros eletroquímicos obtidos a partir do ajuste das curvas de EIS ao circuito equivalente

Amostra	Rs (Ω.cm2)	R1 (Ω.cm2)	CPE1 (Mho*s <sup>n</sup> .cm2)	n1	R2 (Ω.cm2)	CPE2 (Mho*s <sup>n</sup> .cm2)	n2	R3 (Ω.cm2)	CPE3 (Mho*s <sup>n</sup> .cm2)	n3
Cu	10,58	2980,98	1,11E-05	0,85	11156,75	8,12E-04	0,72	-	-	-
Cu + Verniz	8,30	6215,96	3,92E-04	0,72	1447,89	4,78E-05	0,64	-	-	-
Cu + Verniz + P 50	244,00	230184,17	1,63E-06	0,55	4,77E+11	5,54E-06	0,36	-139,80	3,90E-07	0,54
Cu + Verniz + P 100	11,75	460810,50	1,10E-06	0,53	4,77E+11	1,39E-06	0,16	2922,27	3,95E-07	0,77
Cu + Verniz + P 150	-119,94	1109543,25	4,05E-07	0,54	4,77E+11	1,13E-03	1,10	-14062,74	9,25E-07	0,70

n é o termo exponencial da equação da impedância ( $Z = 1/Q(j\omega)^n$ ), onde n = 1 indica que o elemento se comporta como capacitor; n = 0, como resistor; e n = 0.5, ocorrência de reação de difusão.



**Figura 3.** (a) Diagrama de polarização das amostras de cobre com e sem verniz e óleo de *Elaeis guineenses* nas concentrações de 50, 100 e 150 ppm e (b) exemplificação do método da extrapolação de Tafel.

estrutura molecular do óleo, composta de anéis aromáticos ligados a heteroátomos de N e radicais de CH<sub>3</sub>, bem como caráter hidrofóbico da lignina.

### 3.2 Polarização potenciodinâmica

Na Figura 3a são mostradas as curvas de polarização obtidas nos ensaios das amostras de cobre com e sem verniz e com a mistura de verniz e óleo de *Elaeis guineenses*.

Os resultados dos diagramas de polarização foram obtidos utilizando a extrapolação de Tafel, Figura 3b, para indicar as variáveis potencial de corrosão e densidade de corrente de corrosão, bem como calcular a eficiência de inibição, conforme Equação 5. Na Tabela 2 são apresentados os dados obtidos pela extrapolação de Tafel nas curvas da Figura 3.

Na Figura 3a, observa-se que houve uma redução da densidade de corrente conforme se aumentou a concentração de óleo de palma, indicando aumento da resistência da camada protetora à troca de cargas e redução da reação de dissolução do metal (3). A maior redução de densidade de corrente ocorreu para a amostra com concentração de 150 ppm de *Elaeis guineenses*. Ademais, a adição do óleo causou variações nas inclinações das curvas, tanto no ramo catódico, quanto no anódico, sendo classificado como um inibidor do tipo misto, atuando ao

mesmo tempo, na reação de dissolução do cobre (3) e de redução do oxigênio (4) [12,13,22]

Os dados apresentados na Tabela 3 indicam que a adição do óleo de *Elaeis guineenses* no verniz aumentou a eficiência de inibição do cobre. A maior eficiência de inibição foi atingida pela amostra pintada com verniz misturado ao óleo de *Elaeis guineenses* com 150 ppm, com 99,60% de eficiência e densidade de corrosão de 7,72 nA, consequência da homogeneidade da solução, estrutura molecular do óleo, pH alcalino e baixa condutividade do óleo, mostrados na Tabela 1, os quais influenciam a transferência de carga entre o substrato e o eletrólito, logo, a corrosão.

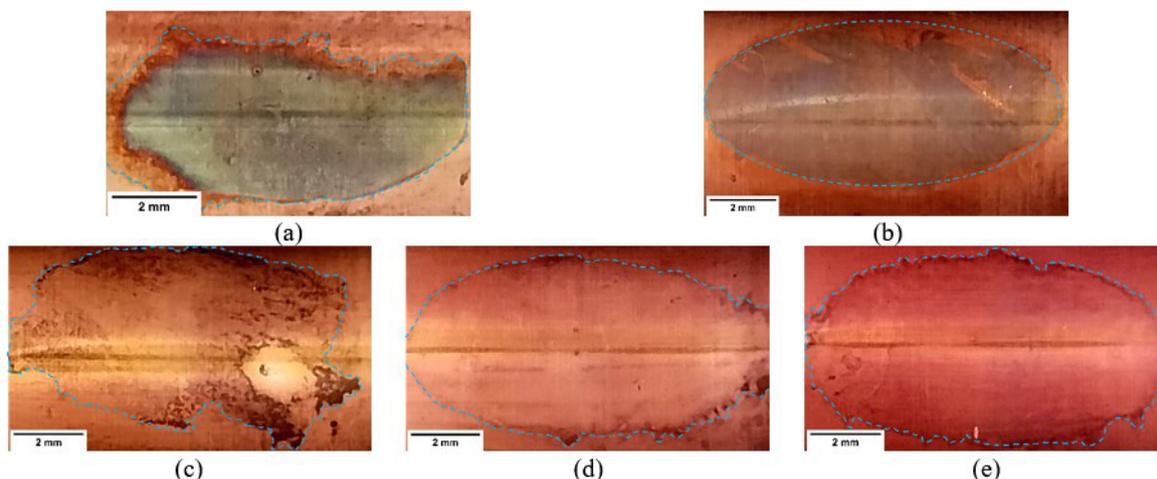
Na Figura 4 são apresentadas as regiões das amostras expostas ao meio corrosivo durante os ensaios, permitindo visualizar a atuação do verniz misturado ao óleo de *Elaeis guineenses*.

Na Figura 4a, nota-se a formação de uma camada de óxido de cobre, cor esverdeada, na superfície da amostra sem verniz, característica da passivação do metal. Na Figura 4b é apresentada a amostra pintada com verniz sem adição de qualquer aditivo. Observa-se a formação de uma camada escura de corrosão sob a camada de verniz, indicando baixa efetividade do material na prevenção contra corrosão.

Nas Figuras 4c, 4d e 4e são apresentadas as amostras pintadas com verniz e óleo de *Elaeis guineenses*. Das imagens,

**Tabela 3.** Parâmetros eletroquímicos das amostras após utilização do método de extrapolação de Tafel

	Cu	Cu+Verniz	Cu+Verniz+P50	Cu+Verniz+P100	Cu+Verniz+P150
<b>E<sub>corr</sub>, Obs (V)</b>	-0,1844	-0,1630	-0,0631	-0,0194	0,0112
<b>j<sub>corr</sub> (A/cm<sup>2</sup>)</b>	1,92E-06	9,56E-07	5,52E-08	1,68E-08	7,72E-09
<b> b<sub>a</sub>  (V/dec)</b>	0,0432	0,0160	0,0202	0,0228	0,0543
<b> b<sub>c</sub>  (V/dec)</b>	0,0700	0,0222	0,0194	0,0165	0,0282
<b>Eficiência de inibição (%)</b>		50,27%	97,13%	99,13%	99,60%

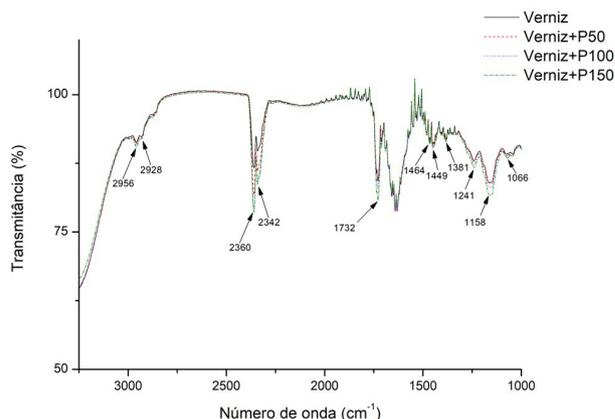
**Figura 4.** Amostras de (a) cobre puro, (b) com verniz, e com verniz e óleo de *Elaeis guineenses* nas concentrações de (c) 50 ppm, (d) 100 e (e) 150 ppm.

nota-se que o ataque corrosivo reduz conforme aumenta a concentração de óleo de *Elaeis guineenses*, sendo a menor área observada na amostra com 150 ppm, comprovando os resultados obtidos nos ensaios de impedância e polarização.

### 3.3 Espectroscopia infravermelho por transformada de Fourier – FTIR

Na Figura 5 são mostrados os espectros de infravermelho do verniz e das misturas de verniz com óleo de *Elaeis guineenses* nas concentrações estudadas. Nota-se, inicialmente, uma ligeira variação nas bandas 2956 e 2928  $\text{cm}^{-1}$ , referente as ligações simples C-H das moléculas  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$ . Observa-se, ainda, variação nos picos 2360 e 2342  $\text{cm}^{-1}$ , associadas ao aumento de ligações  $\text{C}\equiv\text{C}$ , enquanto a banda 1732  $\text{cm}^{-1}$  está relacionada as ligações  $\text{C}=\text{C}$  e  $\text{C}=\text{O}$ . Por fim, as variações nas bandas abaixo de 1500  $\text{cm}^{-1}$ , referem-se a presença das ligações fenólica -OH, C-H, C-O, C-Cl e C-N [11,17,23-25].

As variações nos modos vibracionais observadas podem estar associadas à adição do óleo de *Elaeis guineenses* cuja estrutura molecular possui ligações C-N, C-Cl,  $\text{C}=\text{C}$  e radicais  $\text{CH}_3$ . Além disso, há lignina, principal componente do óleo, que possui uma estrutura molecular composta de radicais  $\text{CH}_2$ , OH e ligações  $\text{C}=\text{O}$ . A presença dessas estruturas moleculares, compostas principalmente de anéis aromáticos ligados a grupos radicais funcionais na superfície dos metais, aumentam a densidade de elétrons formando uma camada protetora e retardando a corrosão [26,27].

**Figura 5.** Espectro de FTIR das amostras de cobre com e sem verniz e óleo de *Elaeis guineenses* nas concentrações de 50, 100 e 150 ppm.

## 4 Conclusão

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, sobre a performance do óleo de *Elaeis guineenses* adicionado a um verniz orgânico como inibidor de corrosão do cobre em NaCl 3,5%, pode-se inferir:

- Os diagramas de impedância, associados aos parâmetros obtidos pelos circuitos equivalentes, indicaram um aumento da resistência à corrosão das amostras pintadas com verniz misturado ao óleo de

*Elaeis guineensis*, sendo a amostra com 150 ppm a que apresentou maior resistência à corrosão;

- Os ensaios de polarização mostraram uma redução da densidade de corrente de corrosão das amostras pintadas com o verniz misturado ao óleo de *Elaeis guineensis*. O melhor resultado foi obtido pela amostra com 150 ppm de óleo de *Elaeis guineensis*, com eficiência de inibição de 99,60%;
- O óleo de *Elaeis guineensis* atuou com inibidor do tipo misto;
- Os espectros de infravermelho indicaram aumento nas bandas associadas às ligações C-N, C-Cl, C=C, C=O e radicais CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>, OH presentes no óleo de

*Elaeis guineensis*. Desta forma, o efeito inibidor observado pode ser associado à presença do óleo de *Elaeis guineensis* no verniz, que retardou o processo corrosivo do cobre exposto à solução de 3,5% NaCl.

### Agradecimentos

Prestamos agradecimentos ao Instituto Federal do Maranhão, especialmente ao Laboratório Multiusuário de Corrosão e Desgaste do Departamento de Mecânica e Materiais e ao Laboratório de Síntese de óxidos Metálicos e Catálise do Departamento Química por permitirem a utilização dos equipamentos necessários à realização deste estudo.

### Referências

- 1 Cardoso, E. Camada de conversão e filmes híbridos de TEOS - GPTMS aditivados com íons cério como pré-tratamentos protetores contra corrosão do cobre [dissertação]. Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados; 2014.
- 2 Jesus ACN. Estudo dos parâmetros: teor de NaCl e acabamento superficial na resistência à corrosão por pite em tubos de cobre [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2008.
- 3 Marques JJA. Boas práticas no uso do cobre para refrigeração e climatização. São Paulo: SENAI-SP; 2018 [acesso em 14 jun. 2023]. Disponível em: <http://abccobre.org.br/wp-content/uploads/2021/04/boas-praticas-uso-cobre-climatizacao.pdf>
- 4 Hart K, James AO. Corrosion inhibition of copper in hydrochloric and tetraoxosulphate (Vi) Acid solutions using Aloe vera barbadensis gel. *British Journal of Applied Science and Technology*. 2014;4(28):4052-4065.
- 5 Beitelman AD, Drozd SA. Demonstration of corrosion-resistant coatings for air-conditioning coils and fins. Honolulu: U.S. Army Engineer Research and Development Center; 2015 [acesso em 14 jun. 2023]. Disponível em: <https://erdc-library.erdcdren.mil/jspui/bitstream/11681/20216/1/ERDC-CERL-TR-15-12.pdf>
- 6 Lian J, Li W, Shang R, Zhao X, Zang B. Research and analysis on corrosion of copper tubes in household air conditioners. *International Journal of Education and Economics*. 2019;2(1):12-13.
- 7 Bhatia A. HVAC design considerations for corrosive environments. Woodcliff Lake: CED; 2023 [acesso em 14 jun. 2023]. Disponível em: <https://www.cedengineering.com/userfiles/HVAC%20Design%20Considerations%20for%20Corrosive%20Env%20R1.pdf>
- 8 Costa, JF. Avaliação de aminoácidos como inibidores de corrosão para cobre em meio de água do mar artificial [dissertação]. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro; 2013.
- 9 Ortega-Ramírez AT, Barrantes-Sandoval LV, Casallas-Martin BD, Cortés-Salazar N. Application of green inhibitors for corrosion control in metals: review. *Dyna*. 2021;88(217):160-168.
- 10 Umoren SA, Solomon MM, Obot IB, Suleiman RK. A critical review on the recent studies on plant biomaterials as corrosion inhibitors for industrial metals. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019;76:91-115.
- 11 Porcayo-Calderon J, Rivera-Muñoz EM, Peza-Ledesma C, Casales-Diaz M, Escalera LMM, Canto J, et al. Sustainable development of palm oil: synthesis and electrochemical performance of corrosion inhibitors. *Journal of Electrochemical Science and Technology*. 2017;8(2):133-145.
- 12 Fayomi OSI, Popoola API. The inhibitory effect and adsorption mechanism of roasted *Elaeis guineensis* as green inhibitor on the corrosion process of extruded AA6063 Al-Mg-Si alloy in simulated solution. *Silicon*. 2014;6(2):137-143.
- 13 Hussin MH, Rahim AA, Ibrahim MNM, Brosse N. Improved corrosion inhibition of mild steel by chemically modified lignin polymers from *Elaeis guineensis* agricultural waste. *Materials Chemistry and Physics*. 2015;163:201-212.
- 14 Salleh NIH, Abdullah A. Corrosion inhibition of carbon steel using palm oil leaves extract. *Indonesian Journal of Chemistry*. 2019;19(3):747-752.

- 15 Hastuty S, Prasetyo HA, Kirana NN, Nugroho A, Oktaviano HS, Awwaluddin M. The effectivity of oil palm inhibitor processed by aminolysis to control corrosion on steel in sodium chloride environment. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2080(1):012027.
- 16 Gonzalez-Rodriguez JG, Porcayo-Calderon J, Vazquez-Velez E, de la Escalera LMM, Canto J, Martinez L. Use of a palm oil-based imidazoline as corrosion inhibitor for Copper in 3.5% NaCl solution. *International Journal of Electrochemical Science*. 2016;11(10):8132-8144.
- 17 Carmona-Hernandez A, Vazquez-Velez J, Uruchurtu-Chavarin J, Gonzalez-Rodriguez JG, Martinez-Gomez L. Use of an imidazol synthesized from palm oil as a corrosion inhibitor for a supermartensitic stainless steel in H<sub>2</sub>S. *Green Chemistry Letters and Reviews*. 2019;12(1):89-99.
- 18 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 7541: tubo de cobre sem costura para refrigeração e ar-condicionado – requisitos. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABNT; 2004.
- 19 BASF S.A. Boletim técnico: Suvinil verniz seca rápido. Americana; 2021.
- 20 Destilaria Bauru. Especificação técnica: óleo vegetal de palma refinado. Catanduva; 2020.
- 21 Mennucci MM. Estudo da corrosão do cobre em meios de sulfato e de cloreto com auxílio do microeletrodo com cavidade e de uma microcélula [tese de doutorado]. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo; 2011.
- 22 Benzidia B, Hammouch H, Dermaj A, Benassoaoui H, About S, Hajjaji N. Investigation of green corrosion inhibitor based on *Aloe vera* (L.) Burm. F. for the protection of bronze B66 in 3% NaCl. *Analytical & Bioanalytical Electrochemistry*. 2019;11(2):165-177.
- 23 Mohamed MA, Jaafar J, Ismail AF, Othman MHD, Rahman MA. Fourier Transform Infrared (FTIR). In: Hilal N, Ismail AF, Matsuura T, Oatley-Radcliffe D, editores. *Membrane characterization*. Amsterdam: Elsevier; 2017. p. 3-29.
- 24 Che Man YB, Setiowaty G, van de Voort FR. Determination of iodine value of palm oil by fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1999;76(6):693-699.
- 25 Santos MC, Lima ERL, Pereira AM, Pereira L, Castro DAR, Machado NT. Biocombustível produzido em reator semipiloto com resíduo da neutralização do óleo de palma. In: Associação Brasileira de Engenharia Química. *Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Química; 2016 Setembro 25-26; Fortaleza, Brasil*. São Paulo: ABEQ; 2016 [acesso em 14 jun. 2023]. Disponível em: <https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2016/trabalhos?lang=pt-br>
- 26 Haris NIN, Sobri S, Yusof YA, Kassim N. Oil palm empty fruit bunch extract and powder as an eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel: a comparison study. *Materials And Corrosion*. 2019;70(12):2326-2333.
- 27 Zhang W, Ma Y, Chen L, Wang LJ, Wu YC, Li HJ. Aloe polysaccharide as an eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in simulated acidic oilfield water: experimental and theoretical approaches. *Journal of Molecular Liquids*. 2020;307:112950.

Recebido em: 14 Jun. 2023

Accito em: 12 Dez. 2023