



ANÁLISE ELETROQUÍMICA DO EXTRATO DE MAURITIA FLEXUOSA COMO INIBIDOR DE CORROSÃO EM MEIO SALINO.

Electrochemical analysis of *Mauritia flexuosa* extract as corrosion inhibitor in saline medium.

Jessica S. Costa^{1*}, Kananda M. Nascimento², Maria Eliziane P. de Souza³, Jaciene J. F. Cardoso⁴

1- Graduanda em Química Industrial na Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, MA, Brasil.

Jessica.silva1@discente.ufma.br

2- Graduanda em Engenharia mecânica na Universidade federal do maranhão (UFMA), São Luís, MA, Brasil

3- Professora do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, MA, Brasil.

4- Professora do Departamento de Química Industrial da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, MA, Brasil.

Abstract.

Corrosion is a problem for industrial sectors that leads to huge financial losses. Corrosion inhibitors are used to lessen the corrosive action, but most are made from synthetic compounds, which are toxic to humans and the environment. In this way, organic inhibitors obtained from natural extracts have been considered a safer option and thus different researches have been carried out using plant extracts containing antioxidants as green corrosion inhibitors. The objective of the research is to identify the corrosion-inhibiting activity of buriti extract, a fruit from the Amazon region, rich in beta-carotene, an antioxidant and anti-inflammatory substance. Aqueous extract of buriti bark in saline solution (NaCl 3%) with different concentrations of extracts was used to control the effect of corrosion on ASTM 1020 steel. Electrochemical impedance spectroscopy measurements and potentiodynamic polarization studies were performed to identify the inhibition of corrosion of buriti extract. The results showed that the solution containing buriti bark extract showed a high degree of efficiency in inhibiting steel corrosion in saline environment. The use of natural corrosion inhibitors, such as buriti extract, can be a safer and more sustainable alternative to prevent corrosion in various industrial sectors.

Keywords: Green inhibitor, *Mauritia flexuosa*, corrosion, EIS.

Resumo.

A corrosão é um problema para os setores industriais que leva a enormes perdas financeiras. Inibidores de corrosão são usados para diminuir a ação corrosiva, mas a maioria é feita de compostos sintéticos, que são tóxicos para os seres humanos e para o meio ambiente. Desta forma, os inibidores orgânicos obtidos a partir de extratos naturais têm sido considerados uma opção mais segura e assim diferentes pesquisas têm sido realizadas utilizando extratos vegetais contendo antioxidantes como inibidores de corrosão verde. O objetivo da pesquisa é identificar a atividade inibidora de corrosão do extrato de buriti, fruta da região amazônica, rica em betacaroteno, substância antioxidante e anti-inflamatória. Extrato aquoso de casca de buriti em solução salina (NaCl 3%) com diferentes concentrações de extratos foi utilizado para controlar o efeito da corrosão no aço ASTM 1020. Medidas de espectroscopia de impedância eletroquímica e estudos de polarização potenciodinâmica foram realizados para

identificar a inibição da corrosão do extrato de buriti. Os resultados mostraram que a solução contendo extrato de casca de buriti apresentou alto grau de eficiência na inibição da corrosão do aço em ambiente salino. O uso de inibidores naturais de corrosão, como o extrato de buriti, pode ser uma alternativa mais segura e sustentável para prevenir a corrosão em diversos setores industriais.

Palavras-chave: Inibidor verde, Mauritia flexuosa, corrosão, EIS.

INTRODUÇÃO

A corrosão é a deterioração de um material metálico pela ação química ou eletroquímica do ambiente ao qual está exposto, bem como por injúrias mecânicas. Como a maioria dos metais existe de forma estável na natureza, na forma de óxidos, sulfetos e carbonatos, o processo de corrosão é um caminho natural para que os metais retornem a um estado de menor energia [10,1]. Geralmente, a corrosão ocorre de forma espontânea, com consequentes alterações nas propriedades químicas e/ou físicas dos materiais, sendo, portanto, uma das principais causas de danos às estruturas metálicas industriais. Dentre as diversas formas de evitar ou minimizar os danos causados pela corrosão, os inibidores são uma das técnicas mais utilizadas pela indústria. Os inibidores de corrosão estão presentes em muitos sistemas industriais; porém, muitos inibidores mostram-se agressivos ao meio ambiente, devido à presença de cromatos e fosfatos, apresentando, portanto, elevada toxicidade. Por conta disso, a comunidade científica passou a estudar inibidores ecologicamente corretos, chamados de inibidores verdes. Esses inibidores podem ser obtidos a partir de extratos vegetais ou cascas de frutas, tais matérias-primas estão disponíveis e são alternativas renováveis e podem ser extraídas através de procedimentos simples e de baixo custo [3,4]. Segundo Quadros et al. (2016), o efeito inibidor da corrosão dos extratos vegetais se deve à presença de composições orgânicas complexas como taninos, alcalóides, bases nitrogenadas, carboidratos e proteínas. Portanto, focando em plantas encontradas na região do Maranhão e que possuem componentes com características antioxidantes eficazes; optou-se pelo extrato da planta *Mauritia flexuosa* (buriti) [12,7]. O extrato da casca do buriti foi utilizado como inibidor de corrosão para aço carbono em ambiente salino. O efeito de inibição para diferentes concentrações dos extratos foi estudado por técnicas de polarização eletroquímica e espectroscopia de impedância eletroquímica para verificar sua atividade de inibição.

MATERIAS E METODOS

Os corpos de prova utilizados como eletrodo de trabalho foram de aço carbono ABNT 1020, Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do aço ABNT 1020

C%	Mn%	Si%	P%(Máx)	S% (Máx)
0,18	0,3	0,05	0,04	0,05

Preparação do extrato aquoso

Na preparação do extrato foram utilizadas as cascas do buriti secas em estufa com temperatura de 50 °C por 48 horas. O material, após secagem, foi triturado e pesado em balança analítica. A solução extrato foi preparada na proporção de 26 g de casca de buriti para 250 ml de água à temperatura de 93°C. A infusão ocorreu durante duas horas. Após isso, a solução foi filtrada e armazenada em um recipiente até a utilização nos testes.

Testes eletroquímicos

As medidas eletroquímicas foram realizadas em um potenciostato/galvanostato modelo PGSTAT 302N, controlado pelo software Nova (versão 2.1.4) da Metrohm Autolab. A célula eletroquímica foi composta por um eletrodo de trabalho (ET) com área de 1 cm², um contra eletrodo (CE) e um eletrodo de referência (ER) Ag /AgCl (KCl saturado). O potencial de circuito aberto (OCP) foi monitorado por 1800 s para garantir a estabilização do sistema. Os ensaios de polarização potenciodinâmica foram efetuados usando a taxa de varredura aplicada de 1 mV.s⁻¹ com sobretensões anódicas e catódicas de +150 e -150 mV, respectivamente, em relação ao potencial de circuito aberto. Nos ensaios de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE), a frequência utilizada variou de 105 a 10⁻² Hz com amplitude de sinal de 10 mV. Todos os experimentos foram realizados a temperatura ambiente (25 °C) sob condições aeradas e não agitadas. Empregou-se como eletrólito o NaCl 3% acrescentado de diferentes quantidades de extrato.

Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A amostra extraída da infusão aquosa foi analisada em um espectrofotômetro de infravermelho com transformação de Fourier (FTIR) IR-Prestige-21, Shimadzu, na Central Analítica da UFMA. A análise em transmitância teve sua resolução 4 cm⁻¹, número de scan 40, com range de varredura 400 a 4000 cm⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros resultados são sobre os estudos de EIS que foram conduzidos para investigar processos de inibição de corrosão em termos de comportamento resistivo e capacitivo na interface metal/solução. A Figura 1 mostra os gráficos de Nyquist obtidos a partir de medições de impedância AC para amostras de aço em solução de NaCl a 3% na ausência e na presença das duas concentrações de extrato de Buriti. Os gráficos de Nyquist para branco e concentração de extrato de 20000 ppm, em ambos os tempos de imersão, estão associados a um pequeno loop capacitivo na região de alta frequência (HF) e um grande loop capacitivo na região de baixa frequência. O loop capacitivo de frequência mais alta pode ser devido à reação de transferência de carga durante o processo de corrosão que ocorre na interface metal/óxido/eletrólito. O segundo loop capacitivo, na região de frequência mais baixa, pode ser responsável pela difusão de íons ou ingresso de eletrólitos através da camada de produto/inibidor de corrosão. É possível observar que a presença de 20000 ppm de extrato de buriti aumenta o arco capacitivo, indicando a ação inibidora do extrato no processo de corrosão. O gráfico de Nyquist para a corrosão do aço muda de forma na adição da concentração de extrato de 40000 ppm, apenas um arco capacitivo é observado para este caso. Esse comportamento pôde ser observado nos dois tempos de imersão, porém, na primeira hora esse desempenho é mais intenso, principalmente para a concentração de 40000 ppm. Após 24 horas de imersão, a concentração de 20000 ppm apresentou um decaimento no arco capacitivo, com resultado inferior ao do branco.

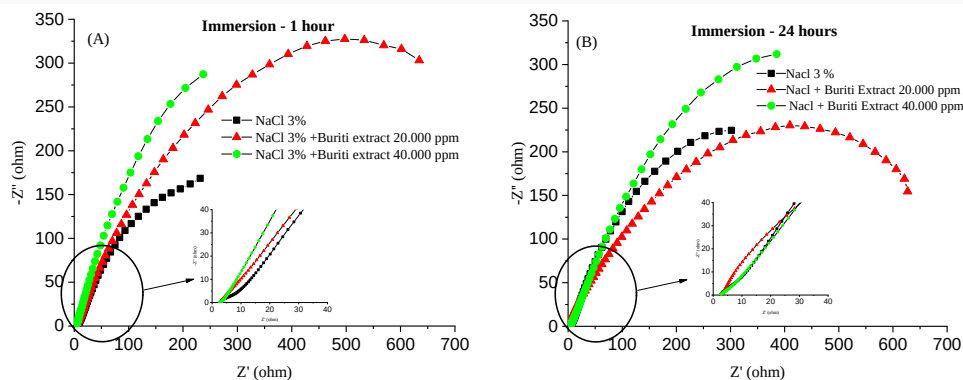


Figura 1: Gráficos de Nyquist dos resultados do EIS tanto para a concentração do extrato quanto para a solução em branco: (a) 1 hora de imersão; (b) 24 horas de imersão

Os resultados de impedância foram ajustados usando Circuitos Elétricos Equivalentes (EEC's) que modelam os processos físicos que ocorrem na interface metal-eletrólito. Para os ajustes foram utilizados dois circuitos, um para ajustar os dados em branco e a concentração de 20000 ppm, Figura 2a. O outro para a concentração de 40000 ppm, Figura 2b. Os elementos presentes nestes ECC's compreendem resistência de solução (R_s), resistência de transferência de carga (R_{ct}), capacitância da interface eletrólito/superfície em termos de um elemento de fase constante (CPE_1), capacitância de dupla camada em termos de um elemento de fase constante (CPE_2), resistência de polarização (R_p). O CPE é utilizado no lugar do elemento capacitivo ideal para um melhor ajuste de loops capacitivos resultantes da dispersão de frequência devido à natureza não homogênea da superfície do eletrodo (REF).

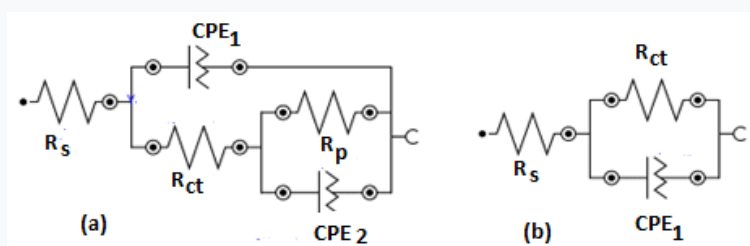


Figura 2: Circuitos Elétricos Equivalentes que se ajustam aos dados de impedância.

A Figura 3 mostra a resistência total ($R_{ct} + R_p$) no caso do ECC da Figura 2 e R_{ct} para o circuito único em função do tempo de imersão. Como pode ser visto, na concentração de 40000 ppm os valores dos valores de resistência são maiores mesmo após 24 horas de imersão. O comportamento acima é indicativo da ação inibitória do extrato de buriti nesta concentração.

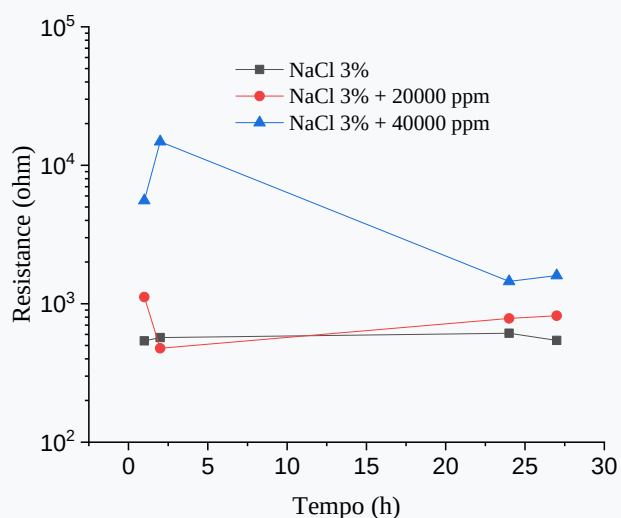


Figura 3: Evolução da resistência em função do tempo de imersão.

Testes de polarização foram realizados para entender a cinética das reações anódicas e catódicas na presença do inibidor em duas concentrações diferentes, Figura 4. Pode-se observar que quando o extrato é adicionado, isso resulta em uma mudança nos valores do potencial de corrosão, logo com a adição do inibidor esse potencial passa a ser positivo,

aumentando a resistência à corrosão [2]. Os valores de i_{corr} e E_{corr} foram obtidos pela extrapolação de Tafel usando o software Nova. A Tabela 1 apresenta esses valores.

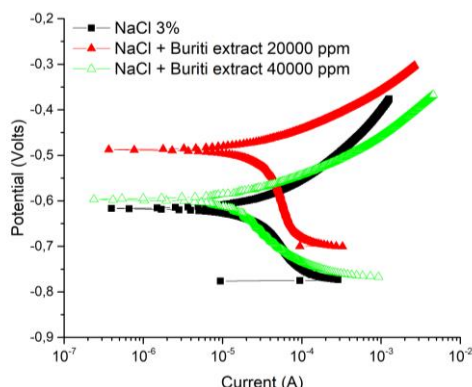


Figura 4: Curva de polarização potenciodinâmica do carbono 1020 obtida na presença e ausência de extrato de buriti

As eficiências de inibição do extrato de buriti (EI%) foram determinadas pela Eq. (1) usando dados adquiridos de densidade de corrente de corrosão (i_{corr}) juntamente com testes de polarização aplicando Tafel. Nesta equação, i_{corr} é a densidade de corrente na presença do inibidor e i_0 representa a densidade de corrente de corrosão sem inibidor (em branco) [6].

$$EI(\%) = \left(\frac{i_0 - i_{\text{corr}}}{i_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

Tabela 1: Parâmetros eletroquímicos derivados das curvas de polarização.

	I_{corr} (A/cm ²)	E_{corr} (Volts)	EI (%)
NaCl 3%	6.19×10^{-5}	-0,61	-
Extrato 20.000ppm	2.08×10^{-5}	-0,48	66%
Extrato 40.000ppm	3.18×10^{-6}	-0,59	94%

Os resultados dos testes de polarização mostram que com a adição do extrato de buriti há uma mudança no potencial de corrosão para a região mais positiva, o que implica na taxa de corrosão do aço levando a uma redução na densidade de corrente. A redução na densidade da corrente de corrosão indica que menos corrosão ocorre nas superfícies do substrato. Se a densidade da corrente de corrosão for menor em certa concentração, sua eficiência será melhor. Como pode ser visto nos resultados, as duas concentrações possuem certa eficiência na inibição do processo corrosivo, principalmente a 40000 ppm que resulta em 94% de eficiência, Tabela 2. Esse efeito de inibição pode estar associado à presença de compostos no extrato de buriti. Nesse sentido, a análise FTIR foi realizada para um melhor entendimento dos compostos presentes a partir das ligações encontradas.

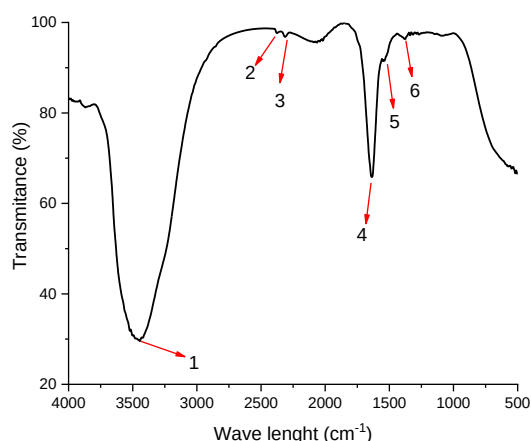


Figura 5: Espectro FTIR para extrato de buriti.

O espectro FTIR obtido da amostra de extrato de buriti é apresentado na Figura 5, onde foram destacados os picos referentes às principais conexões encontradas. Segundo a literatura, as bandas encontradas no extrato foram retiradas da análise do espectro apresentado na Tabela 2. No espectro, Figura 5, é possível notar no ponto 1 um pico na faixa de 3500 cm^{-1} que pode representar ligações de amina (N-NH_2). Do ponto de vista estereoquímico, o grupo NH_2 é altamente móvel, eles tendem a se solubilizar em solventes polares como água ou álcoois. O ponto 2 mostra a presença do estiramento do ácido carboxílico (C=O) designando uma função orgânica oxigenada. As bandas de absorção 1635 cm^{-1} e 1537 cm^{-1} , representadas nos pontos 4 e 5, respectivamente, absorvem na mesma região, porém, o trecho C=O do aldeído presente no ponto 4, é um absorvente mais forte que o do ponto 5 com o anel aromático C=C , o que é evidenciado pela discrepância entre os picos. Ambas as ligações sugerem a presença de compostos como flavonoides, taninos e compostos policíclicos [8,9]. A pista de 1379 cm^{-1} , a partir do ponto 6, apresentou um pequeno pico de dobramento de alceno do grupo metil (CH). Essa faixa pode denotar a presença de hidrocarbonetos [5,11].

Tabela 2: Bandas de absorção referentes aos pontos do gráfico FTIR

	Tipos de vibração	Ligação	Frequência (cm^{-1})
1	Estiramento de amina	R-NH_2	3500
2	Ácido carboxílico	C=O	2378
3	Alcino	$\text{C}\equiv\text{C}$	2319
4	Aldehyde	C=O	1635
5	Aromatic Alkane	C=C	1535
6	Metil	C-H	1379

Com base no texto de Raja et al., 2008, a presença de compostos heterocíclicos, como alcaloides, flavonoides, taninos, celulose e compostos policíclicos presentes em extratos vegetais, pode estar associada à formação de um filme que impede o contato do meio com a superfície de um metal, reduzindo o processo de corrosão.

CONCLUSÃO

O desempenho do extrato de *Mauritia flexuosa* (buriti) como inibidor de corrosão verde em NaCl 3,5% e H_2SO_4 0,1 mol foi estudado. O extrato aquoso de buriti atua como um

bom inibidor de corrosão do aço em solução de NaCl a 3%, a eficiência de inibição aumenta com o aumento da concentração do extrato atingindo eficiências de inibição de 94% na concentração de 40000 ppm. Esse caráter inibidor de corrosão possivelmente se deve aos princípios ativos presentes no extrato, que a literatura relaciona aos flavonoides e polifenóis. No caso do extrato alcoólico da casca do buriti, por ter resultado em um óleo e ser necessário assim, usar o método de passar o óleo sobre a superfície, os resultados de perda de massa foram interessantes, porém com muita dispersão.

REFERENCIAS

- [1] **Livros:** ALBUQUERQUE, Marcos LS et al. Characterization of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil by absorption and emission spectroscopies. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, p. 1113-1117, 2005. SILVA, Simone M. et al. Characterization of oil extracted from buriti fruit (*Mauritia flexuosa*) grown in the Brazilian Amazon region. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 86, p. 611-616, 2009.
- [2] **Livros:** AZIZ, M. A. A. A., HAMZAH E., SELAMAT M. Performances of plant based corrosion inhibitors in controlling corrosion of mild steel in sodium chloride environment. *Materials Today: Proceedings* 51, 1344–1349, 2022.
- [3] **Livros:** CAMARA, A. S.; SOUZA, M. E. P. Extrato da casca de laranja como inibidor de corrosão do aço carbono – estudo eletroquímico. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, 2018.
- [4] **Livros:** CARVALHO, M. L. C.; SILVA, B. R.; SILVA, M. M.; CARCARÁ, K. A. V.; AMORIM, R. R. Estudo comparativo entre a quantidade de fenólicos totais presentes em folhas e cálices de *Hibiscus sabdariffa* L. VII CONNEPI – Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Tocantins, 2012.
- [5] **Livros:** CANTOR, C. R.; SCHIMMEL, P. R. *Biophysical Chemistry: Part I*. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1980
- [6] **Livros:** DURÃES, J. A.; DRUMMOND, A. L.; PIMENTEL, T. A. P. F.; MURTA, M. M.; BICALHO, F.S.; MOREIRA, S. G. C.; SALES, M. J. A. Absorption and photoluminescence of Buriti oil/polystyrene and Buriti oil/poly(methyl methacrylate) blends. *European Polymer Journal*. V. 42, 3324-3332, 2006.
- [7] **Livros:** MIRANDA, I. P. D. A; RABELO, A. Guia de Identificação de palmeiras de Porto de Trombetas – PA. Editora INPA. 2008.
- [8] **Livros:** FRANÇA, L.F.; REBER, G.; MEIRELES, M.A.A.; MACHADO, N.T.; BRUNNER, G. Supercritical extraction of carotenoids and lipids from buriti (*Mauritia flexuosa*), a fruit from the Amazon region. *Journal of Supercritical Fluids* v.14, p.247–256, 1999.
- [9] **Livros:** FELIPE M. B. M. C.; MACIEL, M. A. M.; Medeiros, S. R. B.; Silva, D. R. Aspectos Gerais Sobre Corrosão e Inibidores Vegetais. *Rev. Virtual Química*. v. 5, n. 4, p. 746-759, 2013.
- [10] **Livros:** GENTIL, V. Corrosão, LTC Livro Técnico e Científicos SA, 3 a edição, cap. 1, 6, 19-23. Rio de Janeiro, 1996.
- [11] **Livros:** MELO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; LEAL, F. L. L.; CAETANO, A. C. S.; NASCIMENTO, R. J. Capacidade antioxidante de hortaliças usualmente consumidas. *Ciência Tecnologia de Alimentos*. v. 26, n. 3, p. 639-644, 2006.
- [12] **Livros:** SOBOTA, J. F.; PINHO, M. G.; OLIVEIRA, V. B. Perfil físico-químico e atividade antioxidante do cálice da espécie *Hibiscus sabdariffa* L. a partir do extrato aquoso e alcoólico obtidos por infusão e decocto. *Revista Fitos*, Rio de Janeiro, v. 10 (1), p. 33-46, 2016.