



ANÁLISE DO EXTRATO DA FOLHA DA ANACARDIUM OCCIDENTALE LINN. COMO INIBIDOR VERDE DE CORROSÃO EM MEIO SALINO.

ANALYSIS OF ANACARDIUM OCCIDENTALE LINN LEAF EXTRACT. AS A GREEN CORROSION INHIBITOR IN SALINE ENVIRONMENT.

**Kananda M. do Nascimento^{1*}, Jessica S. Costa², Maria E. P. de Sousa¹ e Jaciene J.
F.Cardoso²**

1 -Departamento de Engenharia Mecânica - DEM, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São
Luís, MA, Brasil.

2 - Departamento de Química Industrial, Universidade Federal de Maranhão (UFMA). São Luis, MA,
Brasil.

kananda.morais@discente.ufma.br

RESUMO

Diante da crescente necessidade de desenvolver novos meios de inibir os processos corrosivos nos metais, esse estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do extrato alcoólico da folha da Anacardium Occidentale Lin. (popularmente conhecido como cajueiro) como inibidor de corrosão para o aço ABNT 1020 em meio salino (NaCl). Sua eficácia foi determinada a partir de dados obtidos por meio de ensaios gravimétricos, eletroquímicos (Polarização Potenciodinâmica – PP e Espectroscopia de Impedância Eletroquímica -EIE) e a espectroscopia de infravermelho. Nos ensaios gravimétricos, o extrato foi analisado na concentração de 500 ppm, mostrando uma redução de 24% da taxa de corrosão em 9 dias de imersão, enquanto a polarização demonstrou uma redução na densidade de corrente de corrosão nas duas concentrações, 400 ppm e 500 ppm quando comparadas com a solução sem o extrato e apresentaram eficácia de 51% e 89%, respectivamente. Por meio da espectroscopia de infravermelho, os possíveis compostos identificados sugerem a presença de heteroátomos, que estão associados à capacidade antioxidante. Assim, o referido estudo indica que o extrato proveniente do cajueiro demonstra potencial como inibidor de corrosão em ambientes salinos, constituindo uma opção prática aos inibidores artificiais, destacando-se por sua menor toxicidade e custo de fabricação reduzido.

Palavras-chave: Corrosão, inibidor verde, cajueiro.

ABSTRACT

Due to the growing need to develop new ways to inhibit corrosive processes in metals, this study aimed to evaluate the efficiency of the alcoholic extract from the Anacardium Occidentale Lin leaf. (popularly known as cashew tree) as a corrosion inhibitor to ABNT 1020 steel in a saline environment (NaCl). Its effectiveness was determined from data obtained through gravimetric and electrochemical tests (Potentiodynamic Polarization – PP and Electrochemical Impedance Spectroscopy -EIE) and infrared spectroscopy. By gravimetric

tests, the concentration of 500 ppm showing reduction of 24% in the corrosion rate after 9 days of immersion, while EIE polarization demonstrated a reduction in the corrosion current density at both concentrations, 400 ppm and 500 ppm when compared to the solution without the extract and showed efficacy of 51% and 89%, respectively. Based on infrared spectroscopy, the possible compounds identified suggest the presence of heteroatoms, which are associated with antioxidant capacity. Thus, the study indicates that the extract from the cashew tree demonstrates potential as a corrosion inhibitor in saline environments, constituting a practical option to artificial inhibitors, highlighting its lower toxicity and reduced manufacturing cost.

Keywords: Corrosion, green inhibitor, cashew tree.

INTRODUÇÃO

A corrosão, em geral, é um processo que ocorre de maneira espontânea e caracteriza-se pela deterioração de um material metálico por ação física, química ou eletroquímica no meio ambiente. Os problemas provenientes da degradação dos metais afligem diversas áreas que vão desde o setor industrial até aparelhos de próteses, gerando grandes gastos para sua manutenção e reposição de peças [1]. Para controlar os danos provenientes deste processo uma das formas com maior utilização no meio industrial são os inibidores sintéticos. Contudo, o uso desse produtos apresenta desvantagens como o custo elevado e a presença, em sua maioria, de substâncias como cromatos e nitratos, que apresentam toxidez alta em pequenas concentrações [2]. Portanto, surge a necessidade novos meios de proteção viáveis e eficazes que não sejam tóxicos.

Nessa perspectiva, inibidores de origem orgânica (inibidores verdes) emergem como uma alternativa promissora no combate à corrosão [3]. Entende-se por inibidores verdes de corrosão, compostos orgânicos de origem naturais que são sintetizados ou extraídos de ervas aromáticas, especiarias ou plantas medicinais [4]. As análises desses anticorrosivos aplicados em diferentes meios vêm ganhando espaço devido não só ao seu baixo custo, mas também à diversidade de matéria-prima. O desempenho desses inibidores tem sido avaliado por diferentes métodos, como a perda de massa e técnicas eletroquímicas como curvas de polarização e impedância eletroquímica [5].

O extrato orgânico avaliado neste trabalho provém da espécie *Anacardium occidentale* Linn, mais conhecida como cajueiro, que pertence à família Anacardiaceae [6]. A sua composição é rica em compostos fenólicos como flavonóides, ácido anacárdico e taninos que estão associados às propriedades biológicas e conferem suas propriedades medicinais [7]. Portanto, foi verificado a capacidade do extrato da folha do cajueiro de inibir a corrosão do aço-carbono 1020 em meio salino (NaCl 3%), empregando técnicas eletroquímicas para concentrações de 400 ppm e 500 ppm. Além disso, foi realizada uma caracterização do extrato por espectroscopia de infravermelho, para verificar os possíveis compostos e assim associar a composição aos resultados das análises eletroquímicas, que forneceu os dados para determinar sua capacidade inibitória.

MATERIAIS E MÉTODOS

Aço ABNT 1020 foi empregado para a confecção das amostras. Para tanto, as amostras foram previamente cortadas, lixadas com lixas de diferentes granulometrias, lavados em água corrente e álcool isopropílico, e por fim, secas em jatos quentes para serem usadas.

O extrato alcoólico foi obtido a partir das folhas de um cajueiro que após limpeza em água corrente foram levadas à estufa durante 48 horas em temperatura constante de 50 °C. Após a secagem completa as folhas foram trituradas e armazenadas para uso posterior. Na preparação do extrato 52 gramas da folha triturada foram adicionadas em 500 ml de álcool etílico (proporção de 26 gramas/250ml) em um balão volumétrico. A técnica de maceração foi empregada, onde a mistura foi conduzida durante 48 horas sob agitação mecânica em temperatura controlada de 50°C, para obter maior homogeneização da mistura. Após a agitação, a mistura foi filtrada a vácuo para retirar os resíduos de folha e levada para um evaporador rotativo com um controlador de vácuo durante 2 horas e 30 minutos a uma temperatura constante de 50 °C (decocção), causando uma redução de 15% do seu volume inicial. O extrato já concentrado foi retirado e movido para uma placa de Petri e levado para uma estufa a vácuo durante 3 horas e 30 minutos a 40° C, obtendo aproximadamente 5,13 gramas de extrato concentrado.

Para conduzir o ensaio gravimétrico os corpos de prova foram pesados antes da imersão nas soluções eletrolíticas, sendo uma contendo o extrato da folha do cajueiro diluído em NaCl 3,5% na concentração de 500ppm e outra apenas de NaCl 3,5%. Após o tempo de imersão correspondente, as amostras foram lavadas com água corrente e álcool isopropílico, secas com ar quente e, por fim, pesadas novamente, sempre em triplicata. A taxa de corrosão, expressa em milímetros por ano (mm/ano), foi calculada para determinar a velocidade do processo corrosivo utilizando a Equação (1).

$$W_{corr} = \frac{(K \times M)}{A \times t \times \rho} \quad (1)$$

Onde K é uma constante ($8,76 \times 10^4$), M a perda de massa em g, A a área exposta em cm^2 , t é equivale ao tempo de imersão em horas, e ρ é a massa específica do material em g/cm^3 que para o aço-carbono 1020, a massa específica é igual a $7,86 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. A eficiência de inibição (%EI) foi calculada através da Equação (2), onde a taxa de corrosão sem o extrato é $[W_{sem\ extrato}]$ e a taxa com a presença *sem extrato* do extrato é dada por $[W_{com\ extrato}]$ *com extrato*.

$$\%EI = \frac{W_{com\ extrato} - W_{sem\ extrato}}{W_{com\ extrato}} \times 100 \quad (2)$$

Nos experimentos eletroquímicos, empregou-se uma célula composta por três eletrodos. Eletrodo de trabalho (ET), construído a partir de aço ASTM 1020, com uma área aproximada de $2,54 \text{ cm}^2$; contra eletrodo (CE), de platina e o eletrodo de referência (ER) de Ag/AgCl (KCl saturado). O eletrólito empregado nas análises foi o NaCl a 3%, com e sem a presença do extrato em concentrações de 400 e 500 ppm. A célula foi conectada a um potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT302N controlado por meio do software Nova (Versão 2.1.4). Para garantir a estabilidade dos dados obtidos, o potencial de circuito aberto (OCP) foi monitorado ao longo de 1800 segundos.

Para os ensaios de EIE foi empregada uma amplitude de 10 mV em uma faixa de frequência de 10^5 até 10^{-2} Hz. Os ensaios de polarização potenciodinâmica (PP) foram conduzidos com uma taxa de varredura aplicada de $1 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$, incluindo sobretensões anódicas e catódicas de +150 e -

150 mV em relação ao potencial de circuito aberto. A fim de determinar tanto a densidade de corrente de corrosão quanto o potencial de corrosão, foi empregado a extrapolação das curvas de Tafel. Todos os experimentos foram conduzidos em condições de temperatura ambiente.

A eficiência de inibição (%EI) também pode ser calculada a partir dos dados de densidade de corrente pela Equação (3).

$$\%EI = \frac{i_{com\ extrato} - i_{sem\ extrato}}{i_{com\ extrato}} \times 100 \quad (3)$$

Onde a densidade de corrente de corrosão sem o extrato é dada por $[i_{sem\ extrato}]$ e densidade de corrosão na presença do extrato é dada por $[i_{com\ extrato}]$. *com extrato*.

A amostra de extrato alcoólico concentrada foi analisada em um espectrofotômetro de infravermelho com transformada 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

A perda de massa causada pela corrosão da solução com e sem o extrato foram verificadas em função de 9 dias de monitoramento, em diferentes intervalos de tempo, representados na Fig. 1

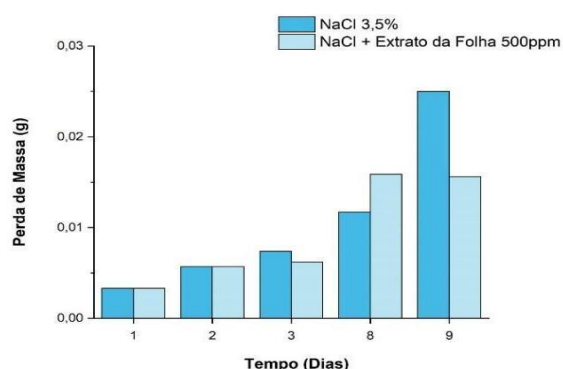


Fig. 1 - Representação gráfica da perda de massa em função do tempo.

Tabela 1: Taxa de corrosão e eficiência inibitória do extrato da folha do cajueiro 500 ppm

Condições	Taxa de Corrosão (mm/ano)			Eficiência (%)		
	Tempo (Dias)			Tempo (Dias)		
	1	3	9	1	3	9
NaCl 3,5%	62,16	41,44	50,78	-	-	-
NaCl 3,5% + Extrato	62,16	38,81	38,87	0	8,3	37,76

As taxas de corrosão do cloreto de sódio no aço 1020 diminuiram à medida que o tempo de imersão aumentava. Outra consideração importante é que ao longo do tempo surgiu uma película na superfície do metal e essa resposta pode estar associada a presença dos possíveis

compostos orgânicos presentes no extrato. Durante as análises é observado um aumento na eficiência de inibição que saltou de 8,3% no terceiro dia para 37,76% no nono dia, como mostrado na Tabela 1. Esse aumento pode ser associado a essa película formada durante a imersão.

Os resultados de EIE obtidos a partir da avaliação extrato da folha do cajueiro na presença de NaCl 3,5% e na ausência do extrato em duas concentrações diferentes (400 ppm e 500 ppm) são apresentados na Fig.2. Como pode ser observado a presença do extrato modifica a resposta eletroquímica da interface metal/eletrólito. Essa mudança é melhor percebida nos gráficos de Bode Fig. 2a e 2b. É importante frisar que para esse extrato os valores de $|Z|$ para os sistemas contendo o extrato apresentam-se maiores, o que significa uma maior resistência à troca de carga e assim ao processo corrosivo. Outra observação é com relação a modificação nas constantes de fase, havendo um deslocamento em frequência e um aumento da fase em região de média frequência, Figura 2b, fato que pode estar associado a formação de uma película devido a presença do extrato.

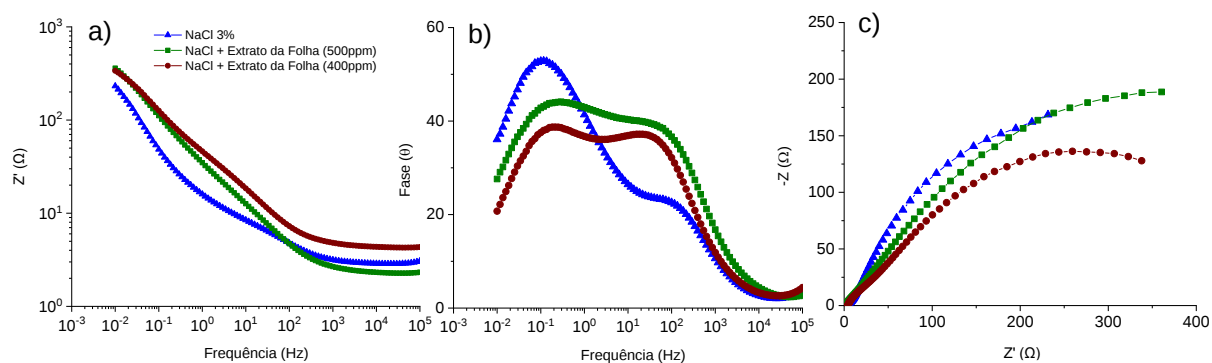


Fig. 2 – Resultados das análises de EIE para as diferentes concentrações do extrato. (a) Bode Z' ; (b) Bode Fase (b) e (c) Nyquist.

Na polarização (Fig.3), há um maior deslocamento nas curvas contendo extrato para a região de potencial catódico, bem como uma diminuição nas densidades de corrente para os dois sistemas contendo o extrato. Ademais, o ramo anódico indica a formação de uma camada que tende a limitar a passagem de corrente que induz a corrosão, que pode estar associada a formação da película na superfície do aço.

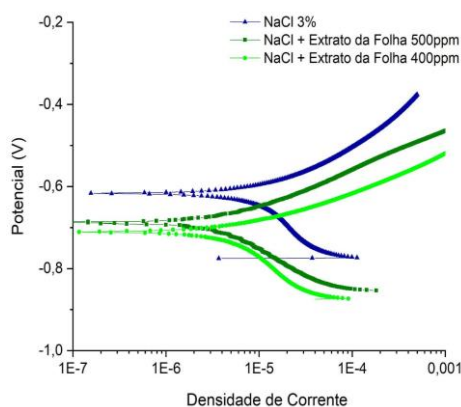


Fig. 3 - Polarização Potenciodinâmica para as diferentes concentrações de extrato

Aplicando a extrapolação de Tafel foram obtidos os valores de densidade de corrente de corrosão e calculadas as eficiências utilizando a Equação (3), esses resultados são apresentados na Tabela 2. Pelos resultados é possível inferir que a presença do extrato leva a uma diminuição na densidade de corrente de corrosão e uma maior concentração do extrato resulta em uma maior eficiência.

Tabela 2: -Parâmetros Eletroquímicos obtidos dos ensaios de polarização para o sistema salino (NaCl 3,5%) na ausência e presença do extrato da folha do cajueiro.

Concentração de extrato no NaCl (ppm)	E_{corr} (V)	J_{corr} (A cm^2)	EI (%)
0	-0,615	$1,19 \times 10^{-5}$	0
400	-0,709	$0,57 \times 10^{-5}$	51
500	-0,688	$0,13 \times 10^{-5}$	89

Analizando o extrato alcoólico da folha do cajueiro por meio do infravermelho foram obtidas bandas de absorção que estão dispostas na Fig.4 e quando comparadas com os dados do livro Introdução à espectroscopia [8] foi possível associar a presença de compostos que podem ser relacionados à capacidade antioxidante do extrato.

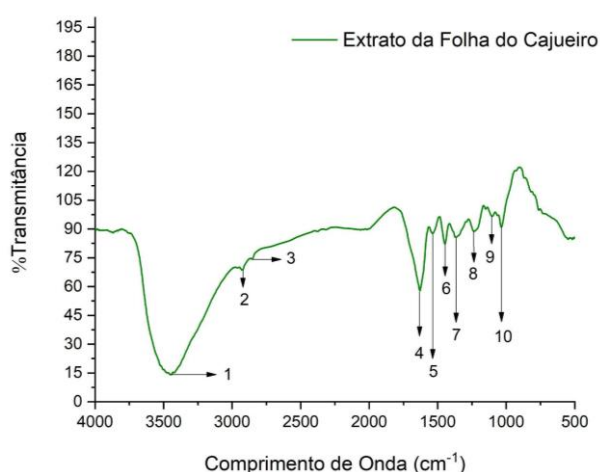


Fig. 4 -Espectro de FTIR para o extrato da folha do cajueiro.

No primeiro ponto do gráfico, verifica-se um pico de absorção largo, na faixa de 3450 cm^{-1} associado à presença de um estiramento de OH, característico de álcoois e fenóis. Os pontos 2 e 3, apresentam bandas de 2920 cm^{-1} e 2847 cm^{-1} que sugerem a presença de estiramento assimétrico e simétrico de alcanos (-CH), respectivamente, que podem ser associados a diversos tipos de heteroátomos. As bandas de absorção referentes aos pontos 4 e 5, absorvem na mesma região, no entanto, o estiramento C=O de aldeído presente no ponto 4, é um absorvente mais forte do que do ponto 5 com o C=C de anel aromático, o que é evidenciado pela discrepância entre os picos. Ambas as ligações sugerem a presença de compostos orgânicos. As faixas de 1448 cm^{-1} , 1361 cm^{-1} e 1246 cm^{-1} dos pontos 6, 7 e 8, nessa ordem, apresentaram-se entre um espectro de dobramento alcanos (pontos 6 e 7), dos grupos metileno (CH_2) e metila (CH_3), enquanto o ponto 8, sugere a existência de enxofre, que pode estar ligada a formação de compostos heterocíclicos, que atuam como inibidores de corrosão do aço [9]. Os pontos 9 e 10

apresentam vibrações similares ao de estiramento de (C-OH) de álcool secundário e álcool primário, que são bastante associadas a moléculas orgânicas como os carboidratos.

É possível que haja uma conexão entre a existência de compostos heterocíclicos, tais como alcaloides, flavonoides, taninos, celulose e compostos policíclicos nos extratos vegetais, a uma possível formação de uma camada protetora que atua como uma barreira entre o meio e a superfície do metal, resultando na mitigação do processo de corrosão [10].

CONCLUSÕES

O referido trabalho avaliou o potencial de inibição da corrosão, utilizando o extrato alcoólico da folha da *Anacardium Occidentale* Lin. (cajueiro) em meio salino. No ensaio gravimétrico, verificou-se a presença de uma película superficial no aço e com base nas análises subsequentes foi possível comprovar que a mesma pode ter se originado devido a composição do extrato mostrada pela espectroscopia de infravermelho, e que essa película também limita o contato eletrodo-eletrólito, diminuindo a corrosão induzida pela passagem de corrente das análises eletroquímicas de impedância e polarização. A eficiência de inibição do extrato em duas concentrações diferentes foi comprovada pelos valores adquiridos nos ensaios eletroquímicos, mostrando a relação que existe entre a capacidade de inibição e a concentração do extrato usado. Em um panorama geral, o extrato orgânico mostrou-se eficiente quanto a diminuição dos processos oxidativos, além de apresentar viabilidade econômica, não agride o meio ambiente, apresenta processo de fabricação simples e provém de fontes renováveis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA, por financiar o projeto. A Universidade Federal do Maranhão por fornecer a estrutura necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] GENTIL, V.; Corrosão. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora: Rio de Janeiro, 2007.
- [2] ALBUQUERQUE, Avaliação da atividade anticorrosiva de formulações com extrato vegetal por técnicas eletroquímicas e gravimétricas, 1841-1853 ed., vol. 7, Revista Química Virtual ,p. 5. 2015.
- [3] VALBON, Arthur et al. Extrato de hibisco-colibri como inibidor verde de corrosão do aço-carbono em ácido sulfúrico. Química Nova, v. 42, p. 797-802, 2019.
- [4] DE ASSIS, Beatriz VR et al. Efeito inibitório do extrato de *Piper nigrum* L. sobre a corrosão do aço carbono em meio ácido. Revista Virtual de Química, v. 7, n. 5, p. 1830-1840, 2015.
- [5] ROCHA, Janaina Cardozo da; GOMES, José Antônio da Cunha Ponciano. Inibidores de corrosão naturais-Proposta de obtenção de produtos ecológicos de baixo custo a partir de resíduos industriais. Matéria (Rio de Janeiro), v. 22, 2018.
- [6] LORENZI, H. e MATOS, F.J.A. Plantas Medicinais no Brasil: nativas e exóticas. 2ª ed. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2008.
- [7] AGOSTINI-COSTA, Tânia da Silveira et al. Teores de ácido anacárdico em pedúnculos de cajueiro *Anacardium microcarpum* e em oito clones de *Anacardium occidentale* var. *nanum* disponíveis no Nordeste do Brasil. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1075-1080, 2004.
- [8] PAIVA, Donald L. et al. Introdução à Espectroscopia. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.
- [9] FRAUCHES-SANTOS, Cristiane et al. A corrosão e os agentes anticorrosivos. Revista virtual de química, v. 6, n.2, p. 293-309, 2014.
- [10] RAJA, P. B., SETHURAMAN, M. G., “Inhibitive effect of black pepper extract on the sulphuric acid corrosion of mild steel”, Materials Letters, v.62, pp. 2977-2979, jun. 2008.