

---

Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## **Extrato de folhas de café como inibidor de corrosão para aço carbono 1020 em meio ácido**

Amanda Lacerda das Chagas<sup>a</sup>, Ariane Varella da Silva<sup>b</sup>,  
Lilian Ferreira de Senna<sup>c</sup>, Aderval Severino Luna<sup>d</sup>, Dalva Cristina Baptista do Lago<sup>e</sup>

### **Abstract**

---

Carbon steel is one of the most industrially employed materials due to its high mechanical resistance. Studies concerning agents that inhibit the corrosive process of this alloy are of vital economic importance, avoiding spending money with the deterioration of products and equipment. There is a great interest in the use of extracts of natural products for this purpose, in order to minimize environmental impacts. The present work aims to evaluate the extract of coffee tree's leaves as a corrosion inhibitor for 1020 carbon steel exposed to 1.0 mol L<sup>-1</sup> HCl solution. For this evaluation, electrochemical impedance spectroscopy experiments were performed using coupons of 1020 carbon steel immersed in 1.0 mol L<sup>-1</sup> HCl solution with the addition of the extract of coffee tree's leaves. The experimental design was used to evaluate the influence of extraction parameters (temperature and time), as well as the volume of extract used in the test solution, on the inhibition of the corrosive process. The highest inhibition efficiency value (97.15%) was obtained with the addition of 40 mL of aqueous extract, obtained at 80 °C for 40 min. Statistical analysis of the results showed that both extraction parameters had a positive influence on the charge-transfer resistance values. The most significant influence was verified for the extraction time.

**Keywords:** 1020 carbon steel, coffee leaves, corrosion inhibitors, acidic solution.

### **Resumo**

---

O aço-carbono é um dos materiais mais empregados industrialmente devido à sua alta resistência mecânica. Estudos de agentes que inibam o processo corrosivo dessa liga são de vital importância econômica, evitando gastos financeiros com a deterioração de produtos e equipamentos. Há um grande interesse na utilização de extratos de produtos naturais para este fim, de modo a minimizar impactos ambientais. O presente trabalho tem o intuito de avaliar o extrato de folhas de café como inibidor de corrosão para aço carbono 1020 em meio de solução HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>. Para tal avaliação, foram realizados ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica empregando cupons de aço carbono 1020 imersos em solução de HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> com adição de extratos de folhas de café. Empregou-se planejamento de experimentos a fim de avaliar a influência dos parâmetros de extração (temperatura e do

---

<sup>a</sup>Aluno de graduação, Química - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

<sup>b</sup>Aluno de graduação, Química - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

<sup>c</sup>DSc., Professor associado- UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

<sup>d</sup>DSc., Professor titular- UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

<sup>e</sup>DSc., Professor associado- UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

tempo), bem como do volume de extrato utilizado na solução teste, na inibição do processo corrosivo. O maior valor de eficiência de inibição (97,15%) foi obtido com a adição de 40 mL de extrato aquoso, obtido a 80°C durante 40 minutos. A análise estatística dos resultados mostrou que ambos os parâmetros de extração influenciaram positivamente nos valores de resistência de transferência de carga. A maior influência foi verificada para o tempo de extração.

**Palavras-chave:** aço carbono 1020, folhas do cafeeiro, inibidores de corrosão, solução ácida.

## **Introdução**

---

O aço-carbono é um dos mais importantes materiais utilizados na indústria. Constitui-se de uma liga metálica composta, basicamente, de ferro e carbono, que apresenta excelentes propriedades mecânicas sem a adição de outros elementos de liga e, muitas vezes, sem a necessidade de tratamento térmico (1). Além de propriedades que são suficientes para atender à maioria das aplicações práticas, o aço-carbono apresenta baixo custo no mercado, o que o torna muito atrativo (2). Apesar disto, é susceptível a sofrer processos de corrosão.

Corrosão é a deterioração de um material causada por ação química ou eletroquímica do meio (3). Estima-se que um quinto da produção mundial de aço é destinada a repor perdas causadas por processos de corrosão. Os gastos no Brasil chegam à casa dos bilhões de dólares e o fenômeno pode gerar ainda desastres ambientais, como derramamentos de óleo (4). Desse modo, é grande o interesse no desenvolvimento de inibidores de corrosão, substâncias que objetivam evitar o desenvolvimento das reações de corrosão (3).

Embora funcionais, muitos inibidores de corrosão são considerados tóxicos e/ou poluentes, afetando os ecossistemas. A preocupação em minimizar impactos ambientais causados pelo uso destas substâncias vem trazendo à tona um debate sobre a substituição dos inibidores de corrosão tradicionais por produtos naturais, chamados de inibidores verdes (5).

A utilização de extratos naturais como inibidores de corrosão já vem sendo avaliada por pesquisadores e tem apresentado resultados bastante satisfatórios quanto à eficácia no controle da corrosão de aço-carbono em meio ácido. Extratos aquosos, obtidos a partir de henna, borra de café, bagaço de uva, casca de alho, folha de oliveira, folha de bambu, dentre outros, já foram estudados, contribuindo com o reaproveitamento de resíduos destes materiais (6-15).

Nesse sentido, visando o aproveitamento de um dos resíduos gerados na colheita do café arábica da Fazenda Camocim, no Espírito Santo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar extratos aquosos de folhas do cafeeiro como inibidor de corrosão para aço carbono 1020 em meio de solução de HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>, empregando planejamento de experimentos.

## **Metodologia**

---

Os corpos de prova utilizados na realização dos ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica foram cupons de aço carbono AISI 1020, cuja composição química, em % em massa, é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1- Composição química do aço carbono AISI 1020**

Elemento	C	Mn	P	S <sub>máx</sub>	Si	Cu	Cr	Ni	Fe
Massa (%)	0,16	0,63	0,012	0,031	0,012	0,01	0,03	0,01	Balanço

Os cupons de aço carbono empregados na confecção dos corpos de prova apresentavam dimensões de 1,6 cm x 2,0 cm x 0,2 cm e área média exposta de aproximadamente 2,0 cm<sup>2</sup>. Realizou-se a soldagem de um fio condutor de cobre de modo a proporcionar contato elétrico do sistema e, em seguida, os cupons de aço carbono foram embutidos em resina epóxi. Antes da realização dos ensaios, os corpos de prova utilizados eram polidos com lixas d'água de 100 mesh a 600 mesh de granulometria, lavados com água destilada e álcool etílico, seguido de secagem com jato de ar quente.

Para o preparo dos extratos aquosos, foram utilizadas folhas de café oriundas da Fazenda Camocim, no Espírito Santo. Removeu-se o caule de cada folha e o restante foi picado com o auxílio de um processador. Foram utilizados aproximadamente 3,5 g de folhas picadas e 100 mL de água destilada e deionizada a cada extração. As extrações foram realizadas em banho termostático de água e glicerina, em diferentes temperaturas e tempos. Em seguida, cada solução foi filtrada à vácuo com papel de filtro quantitativo e mantida em geladeira até a realização dos ensaios eletroquímicos.

Empregou-se planejamento fatorial com ponto central (Tabelas 2 e 3) para avaliar a significância do tempo e temperatura de extração, bem como o volume de extrato, na eficiência de inibição (17). Os valores reais, correspondentes aos níveis -1, 0 e +1, foram selecionados baseados em resultados anteriormente realizados pelo nosso grupo de pesquisa (16). Os valores reais, referentes aos demais níveis foram determinados pela equação (1).

$$X_{\text{codificado}} = \frac{X_{\text{real}} - X_0}{\frac{x+1 - x-1}{2}} \quad (1)$$

**Tabela 2 – Valores reais e codificados dos fatores avaliados**

Nível	X <sub>1</sub> Temperatura de extração (°C)	X <sub>2</sub> Tempo de extração (min)	X <sub>3</sub> Volume de extrato (mL)
-1,68	53,2	13,2	13,2
-1	60	20	20
0	70	30	30
+1	80	40	40
+1,68	86,8	46,8	46,8

Tabela 3 – Matriz do planejamento fatorial com triplicata no ponto central

Ensaio	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>	
	Temperatura		Tempo de extração		Volume de extrato	
	Valor codificado	Valor real (°C)	Valor codificado	Valor real (min)	Valor codificado	Valor real (mL)
1	-1	60	-1	20	-1	20
2	+1	80	-1	20	-1	20
3	-1	60	+1	40	-1	20
4	+1	80	+1	40	-1	20
5	-1	60	-1	20	+1	40
6	+1	80	-1	20	+1	40
7	-1	60	+1	40	+1	40
8	+1	80	+1	40	+1	40
9	-1,68	53,2	0	30	0	30
10	+1,68	86,8	0	30	0	30
11	0	70	-1,68	13,2	0	30
12	0	70	+1,68	46,8	0	30
13	0	70	0	30	-1,68	13,2
14	0	70	0	30	+1,68	46,8
15	0	70	0	30	0	30
16	0	70	0	30	0	30
17	0	70	0	30	0	30

Para a realização dos ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) foram empregados os diferentes volumes dos extratos aquosos preparados. A estes, foram adicionados 20,7 mL de solução de HCl concentrado e as soluções foram avolumadas a 250,00 mL em balão volumétrico, de modo a se obter uma solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup> contendo o extrato. Para valores de referência, também foram realizados ensaios em branco, utilizando apenas solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Antes de iniciar os ensaios de EIE, aguardou-se a estabilização do potencial de circuito aberto (OCP), em todos os sistemas, por cerca de 40 minutos.

A célula eletroquímica empregada era composta por três eletrodos: o aço carbono 1020, utilizado como eletrodo de trabalho, um fio de platina como contra-eletrodo e eletrodo de calomelano saturado (ECS) como eletrodo de referência. Os ensaios foram realizados a 25 °C em um potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT 302N. Foi empregada uma faixa de frequência de 10<sup>5</sup> Hz a 10<sup>-3</sup> Hz, amplitude de 10 mV e taxa de aquisição da frequência de 10 pontos por década.

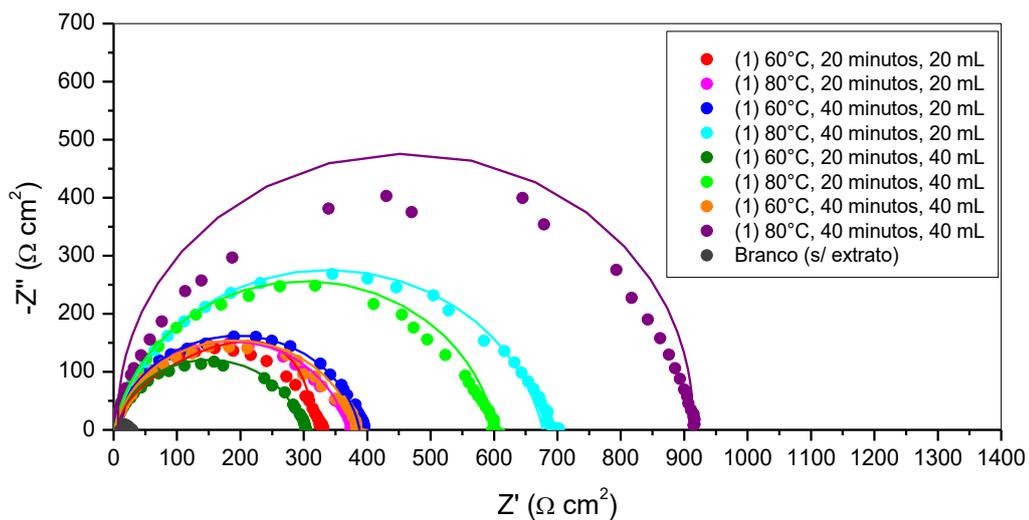
A eficiência de inibição (E.I.) foi calculada através da equação (2):

$$E.I. (\%) = \frac{Rtc_{com\ extrato} - Rtc_{branco}}{Rtc_{com\ extrato}} \times 100 \quad (2)$$

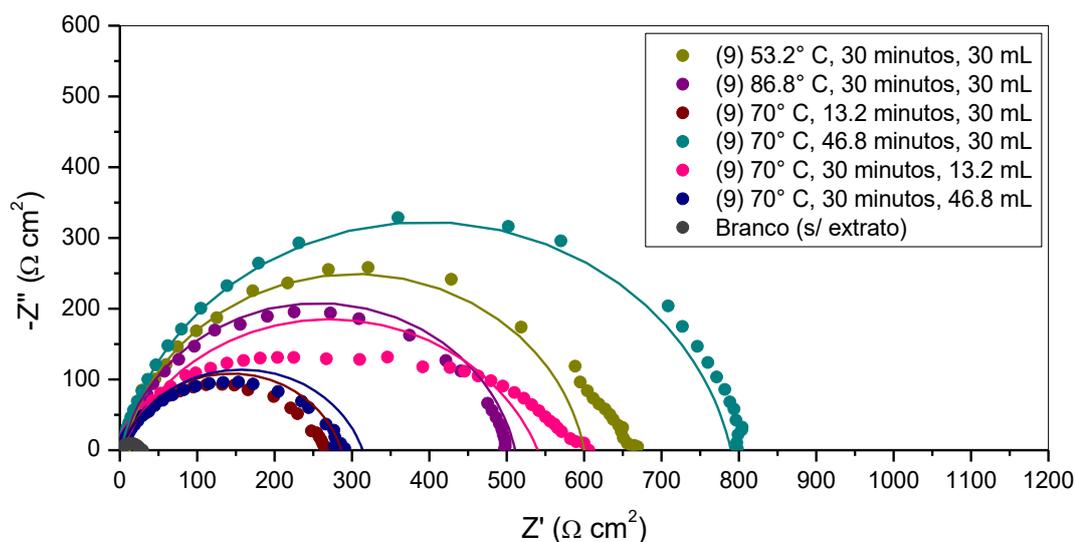
## Resultados e discussão

Através da análise dos gráficos de impedância é possível estudar fenômenos que envolvem o efeito capacitivo da dupla camada elétrica, além de obter valores de resistência à transferência de carga (15), os quais são apresentados na Tabela 4, após a simulação dos dados de EIE.

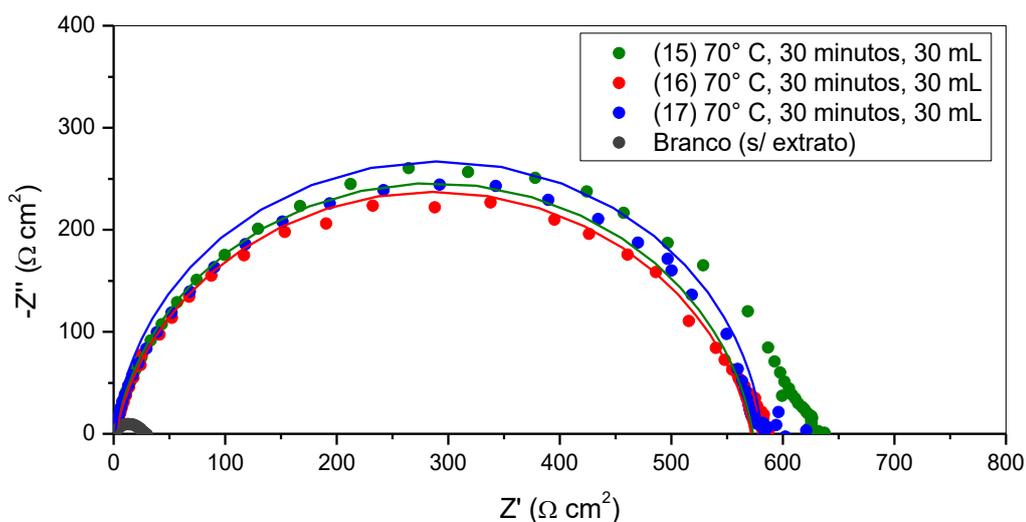
Para uma melhor visualização dos efeitos da temperatura e tempo de extração, bem como do volume de extrato empregado, nos diâmetros dos arcos capacitivos dos diagramas de Nyquist, os resultados são apresentados em três figuras. Assim sendo, as Figuras 1, 2 e 3 apresentam os diagramas de Nyquist para o aço carbono 1020 imerso em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e presença de diferentes volumes de extratos de folhas do cafeeiro, obtidos em diferentes temperaturas e tempos de extração.



**Figura 1 - Diagramas de Nyquist do aço carbono 1020 imerso em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e presença de diferentes volumes de extrato aquoso de folhas do cafeeiro, obtidos em diferentes temperaturas e tempos de extração**



**Figura 2 - Diagramas de Nyquist do aço carbono 1020 imerso em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup> na ausência e presença de diferentes volumes de extrato aquoso de folhas do cafeeiro, obtidos em diferentes temperaturas e tempos de extração - continuação**



**Figura 3 - Diagramas de Nyquist do aço carbono 1020 imerso em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup> na ausência e presença de 30 mL de extrato aquoso de folhas do cafeeiro, obtidos a 70° C durante 30 minutos - continuação**

Como pode ser observado nos diagramas das Figuras 1, 2 e 3, todos os ensaios contendo o extrato de folhas do cafeeiro apresentaram maiores diâmetros de arcos capacitivos que o ensaio que não continha o inibidor (Branco), equivalendo, portanto, à maiores valores de resistência de transferência de carga. Um aumento no valor de resistência de transferência de carga indica maior resistência ao processo de corrosão, neste caso atribuído ao efeito de inibição causado pelo extrato de folhas do cafeeiro. Este comportamento também foi verificado por Akalezi e colaboradores (8).

Para a análise do efeito da temperatura de extração (mantendo-se as demais variáveis constantes) os resultados dos ensaios 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6, e 7 e 8 (Figura 1) foram comparados entre si. Verifica-se, em todos os ensaios comparativos, que o aumento da temperatura de extração propiciou a formação de filmes mais protetores sobre a superfície do aço carbono, uma vez que maiores diâmetros de arcos capacitivos foram obtidos. Resultado semelhante pode ser observado também na Figura 2, na comparação entre os ensaios 9 e 10. Provavelmente, o aumento da temperatura ocasionou uma maior extração de substâncias com propriedades antioxidantes, levando a formação de filmes com melhores características anticorrosivas. Vale a pena ressaltar que, embora o ensaio 9 corresponda ao de maior temperatura de extração (86,8<sup>o</sup>C), este não foi o que apresentou o maior diâmetro do arco capacitivo, mostrando que não somente os efeitos univariados dos parâmetros estudados devem ser considerados, mas também as interações entre esses parâmetros.

Analisando-se o efeito do volume de extrato adicionado, uma relação direta entre o volume de extrato adicionado e o diâmetro do arco capacitivo só foi verificada nas comparações entre os ensaios 2 e 6 e entre os ensaios 4 e 8, todos realizados à 80<sup>o</sup>C. Nos demais ensaios (Figura 1) e na comparação entre os ensaios 13 e 14 (Figura 2), observa-se que o aumento do volume de extrato ocasionou uma diminuição no arco capacitivo, mesmo em temperatura mais elevada (70<sup>o</sup>C). Estes resultados indicam que, de fato o aumento da temperatura de 60<sup>o</sup>C para 80<sup>o</sup>C é importante para a formação de filmes mais protetores sobre a superfície do aço carbono.

O efeito do tempo de extração sobre o diâmetro dos arcos capacitivos pode ser visualizado comparando entre si os ensaios 1 e 3, 2 e 4, 5 e 7, e 6 e 8 (Figura 1). Observou-se em todas as comparações que o aumento do tempo de extração de 20 minutos para 40 minutos (mantendo-se constantes as demais variáveis) ocasionou um aumento no diâmetro do arco capacitivo, indicando que filmes mais resistivos foram formados sobre a superfície do aço carbono. Um aumento no tempo de extração promoveu, provavelmente, a extração de uma maior concentração de compostos com propriedades antioxidantes. Este comportamento também foi observado na comparação entre os ensaios 11 e 12 (Figura 2), com o aumento do tempo de extração de 13,2 minutos para 46,8 minutos.

Na Figura 3 são apresentados os diagramas de Nyquist referentes aos ensaios em triplicata (70<sup>o</sup>C, 30 min, 30 mL), realizados para a determinação do erro experimental do planejamento de experimentos. Observa-se uma boa reprodutibilidade nos valores de  $R_{tc}$  (Tabela 4). Comparando-se estes resultados com os do ensaio 9 (53,2<sup>o</sup>C, 30 min, 30 mL), verifica-se que o aumento da temperatura de 53,2<sup>o</sup>C para 70<sup>o</sup>C ocasionou a formação de filmes mais protetores sobre a superfície do aço carbono, uma vez que foi verificado um maior diâmetro do arco capacitivo. Entretanto, quando são comparados os resultados da triplicata com o ensaio 10 (86,8<sup>o</sup>C, 30 min, 30 mL), o aumento da temperatura de 70<sup>o</sup>C para 86,8<sup>o</sup>C não ocasionou um aumento no diâmetro do arco capacitivo.

Os dados dos diagramas de EIE foram simulados através de circuitos elétricos equivalentes, utilizando o software NOVA 1.10 Metrohm Autolab. O ajuste foi considerado bom para um valor de erro menor que 1% (18). O circuito utilizado para simular os dados de EIE está apresentado na Figura 4, onde  $R_s$  é a resistência da solução,  $R_{tc}$  é a resistência de transferência de carga e EFC é o elemento de fase constante e N corresponde ao grau de equivalência do EFC para um componente capacitivo.

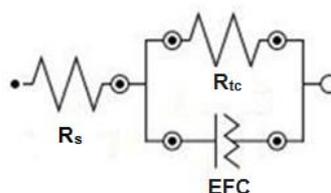


Figura 4 – Circuito elétrico equivalente utilizado para interpretar os dados de EIE obtidos para o aço-carbono 1020, na ausência e na presença do extrato

Os valores de capacitância da dupla camada elétrica foram calculados com o uso da equação (3):

$$C_{DCE} = (EFC)^{\frac{1}{N}} \times R_{tc}^{\left(\frac{1}{N}-1\right)} \quad (3)$$

Na tabela 4 são apresentados os valores resistência de transferência de carga ( $R_{tc}$ ), resistência da solução ( $R_s$ ),  $N$ , capacitância da dupla camada elétrica ( $C_{DCE}$ ) e eficiência de inibição (E.I.), obtidos após a simulação dos dados de EIE dos ensaios realizados na ausência e presença de extratos de folhas do cafeeiro.

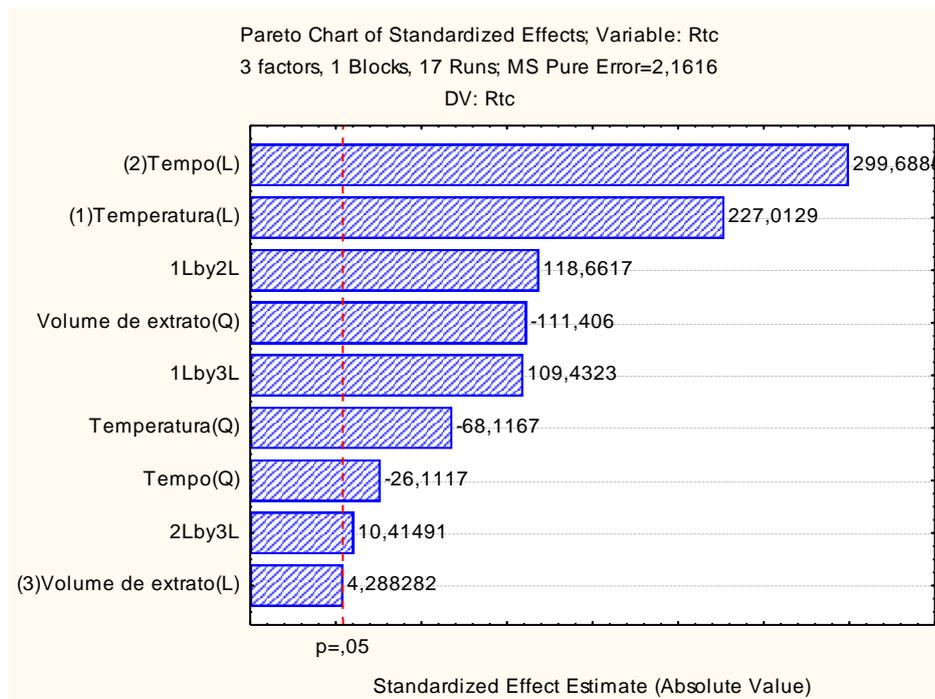
Tabela 4 – Valores de resistência de transferência de carga ( $R_{tc}$ ), resistência da solução ( $R_s$ ),  $N$ , capacitância da dupla camada elétrica ( $C_{DCE}$ ) e eficiência de inibição (E.I.).

Ensaio	$R_{tc}$ ( $\Omega \text{ cm}^2$ )	$R_s$ (m $\Omega$ )	$N$	$C_{DCE}$ (F $\text{cm}^{-2}$ )	E.I. (%)
<b>Branco</b>	26,69	849	0,819	2,12E <sup>-04</sup>	-----
<b>1</b>	315,90	787	0,901	7,14E <sup>-05</sup>	91,49
<b>2</b>	366,08	642	0,885	1,01E <sup>-04</sup>	92,66
<b>3</b>	386,56	784	0,890	8,27E <sup>-05</sup>	93,05
<b>4</b>	675,13	735	0,871	9,49E <sup>-05</sup>	96,03
<b>5</b>	296,66	587	0,870	1,02E <sup>-04</sup>	90,94
<b>6</b>	566,04	748	0,900	7,57E <sup>-05</sup>	95,25
<b>7</b>	380,64	679	0,869	1,03E <sup>-04</sup>	92,94
<b>8</b>	<b>905,08</b>	<b>3,99</b>	<b>0,866</b>	<b>7,53E<sup>-05</sup></b>	<b>97,05</b>
<b>9</b>	448,35	3,31	0,889	7,05E <sup>-05</sup>	94,00
<b>10</b>	508,06	724	0,872	8,03E <sup>-05</sup>	94,71
<b>11</b>	284,70	730	0,828	1,11E <sup>-04</sup>	90,56
<b>12</b>	775,68	728	0,873	1,00E <sup>-04</sup>	96,53
<b>13</b>	538,16	906	0,767	1,32E <sup>-04</sup>	95,00
<b>14</b>	311,10	664	0,803	1,47E <sup>-04</sup>	91,36
<b>15</b>	572,00	1,06	0,904	5,87E <sup>-05</sup>	95,30
<b>16</b>	570,24	1,03	0,883	6,70E <sup>-05</sup>	95,29
<b>17</b>	580,28	954	0,902	4,39E <sup>-05</sup>	95,40

A eficiência de inibição foi elevada, com valores acima de 90%, sendo o maior valor (97,05%) alcançado nas condições do ensaio 8, isto é, empregando 40 mL de extrato aquoso de folhas do cafeeiro, obtidos a 80°C, durante 40 minutos.

Maiores valores de  $R_{tc}$  e menores  $C_{DCE}$  foram verificados para todos os ensaios realizados na presença do extrato aquoso de folhas do cafeeiro, quando comparados ao ensaio em branco. O aumento nos valores  $R_{tc}$  e a diminuição nos valores de  $C_{DCE}$  estão relacionados com características anticorrosivas do filme formado sobre a superfície do aço carbono. A literatura reporta que a adsorção de íons cloreto, provenientes da ionização do HCl, sobre a superfície do aço carbono cria um excesso de cargas negativas na superfície, favorecendo a adsorção de cátions (inibidores protonados), pela formação de uma ponte entre a superfície do aço carregada positivamente e as moléculas protonadas do inibidor (20). Supõe-se que ocorram interações eletrostáticas entre as moléculas protonadas e as espécies de  $(FeCl)_{ads}$  nos sítios anódicos (20).

Empregou-se planejamento de experimentos para avaliar o efeito das variáveis de entrada (Temperatura de extração, tempo de extração e volume de extrato) na variável de resposta  $R_{tc}$ . Esses efeitos podem ser observados no diagrama de Pareto (Figura 5) e nas superfícies de resposta (Figuras 6, 7 e 8). O diagrama de Pareto é apresentado em colunas, e uma linha transversal às mesmas, correspondente ao valor de  $p = 0,05$ , indica o quão grande deve ser o efeito para ter significado estatístico. A Figura 5 mostra, com 95% de confiança, que as variáveis tempo e temperatura de extração influenciam positivamente os valores de resistência de transferência de carga. As maiores influências observadas estão relacionadas às variações linear do tempo de extração ( $p < 0,000011$ ) e da temperatura de extração ( $p < 0,000019$ ), seguidas pela interação entre ambas ( $p < 0,000063$ ).



**Figura 5 - Diagrama de Pareto para a variável de resposta resistência de transferência de carga**

A análise de variância (ANOVA) mostra que a percentagem de variação explicada pelo modelo é igual a 78,96%. O modelo estatístico usado para descrever as respostas do planejamento fatorial é formulado em termos dos efeitos por unidade de variação dos fatores. Substituindo os respectivos valores codificados dos coeficientes dos termos significativos ( $p < 0,05$ ), tem-se a equação (4) do modelo quadrático ajustado.

$$\hat{y} = 570,82 + 90,36 x_1 + 119,28 x_2 - 29,87 x_1^2 - 11,45 x_2^2 - 48,85 x_3^2 + 61,68 x_1 x_2 + 56,88 x_1 x_3 + 5,41 x_2 x_3$$

(4)

Onde  $\hat{y}$  é a resistência de transferência de carga ( $R_{tc}$ ),  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$  representam valores codificados da temperatura de extração, do tempo de extração e do volume de extrato, respectivamente. Conforme foi visto no diagrama de Pareto, pode-se observar na equação (4) a influência estatística positiva de  $x_1$  e  $x_2$  sobre  $R_{tc}$ , assim como das interações, indicando que maiores valores de  $R_{tc}$  foram obtidos com o aumento da temperatura e do tempo de extração. Por outro lado, um elevado aumento na temperatura e tempo de extração, bem como no volume de extrato adicionado, representados na equação pelo termo quadrático, ocasiona uma diminuição nos valores de  $R_{tc}$ . O maior coeficiente da equação (119,28) indica que o tempo de extração foi a variável que mais influenciou na resistência de transferência de carga.

O resultado do modelo estudado, mostrado na equação (4), pode também ser representado pelas superfícies de resposta, apresentadas nas Figuras 6 e 7, na qual são observados os principais efeitos da variação da temperatura e do tempo de extração, bem como do volume de extrato adicionado sobre a resistência de transferência de carga. Verifica-se que maiores valores de resistência de transferência de carga são obtidos quando são empregados maiores temperatura e tempo de extração e um maior volume de extrato adicionado ao meio corrosivo.

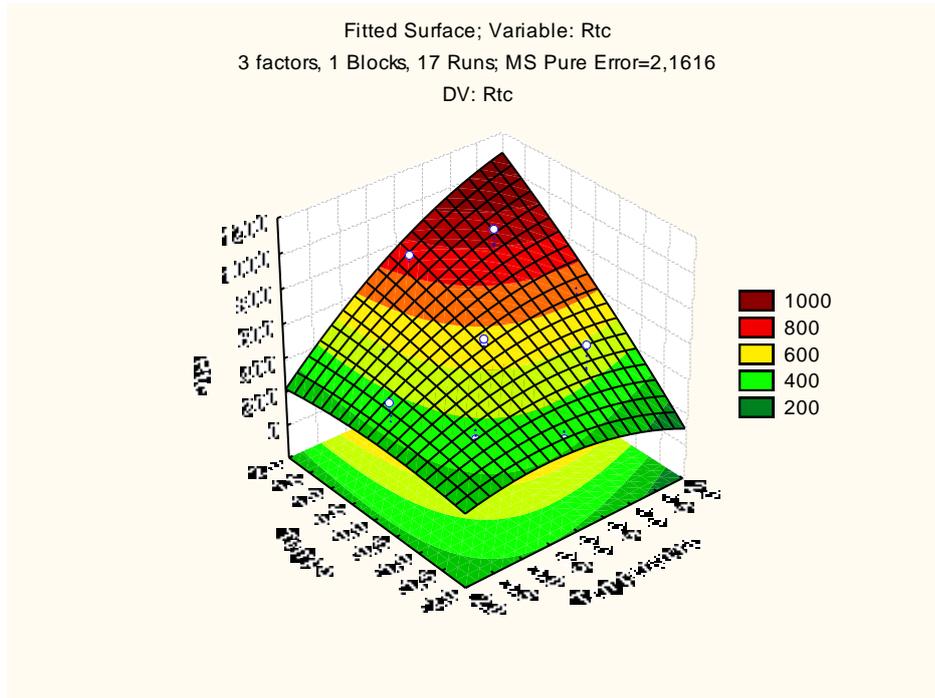


Figura 6 – Superfície de resposta relacionando a influência do tempo de extração e da temperatura de extração sobre  $R_{tc}$ , mantendo-se o volume do extrato igual a 30 mL

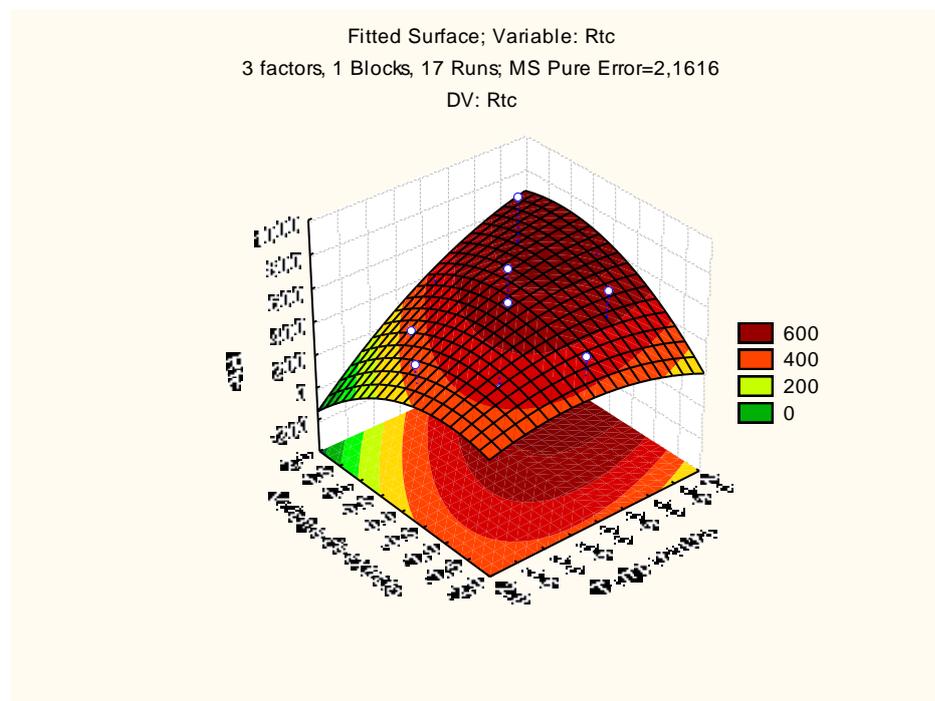


Figura 7 – Superfície de resposta relacionando a influência do volume de extrato e da temperatura de extração sobre  $R_{tc}$ , mantendo-se o tempo extração igual a 30 mL

---

## Conclusões

---

O estudo de extratos aquosos de folhas do cafeeiro como inibidores de corrosão para aço carbono em meio ácido, por Espectroscopia de Impedância Eletroquímica, mostrou que a eficiência de inibição foi elevada, variando de 90,94% a 97,05%, sendo o maior valor obtido com a adição de 40 mL de extrato aquoso, obtido a 80° C durante 40 minutos.

A análise estatística dos resultados mostrou, com 95% de confiança, que o tempo e a temperatura de extração, assim como a interação entre eles, influenciaram positivamente no valor de  $R_{tc}$ . Um aumento na temperatura e no tempo de extração, proporciona um aumento no valor de  $R_{tc}$ , devido à formação de filmes mais protetores sobre a superfície do aço carbono. A maior influência foi verificada para o tempo de extração.

---

## Agradecimentos

---

Os autores agradecem ao CNPq e à UERJ pelo apoio financeiro. Dalva C. B. do Lago, Lilian F. de Senna e Aderval S. Luna agradecem também ao Programa Prociência. Os autores agradecem também ao Sr. Henrique Sloper, da Fazenda Camocim (ES), pelo fornecimento das folhas do cafeeiro.

---

## Referências bibliográficas

---

- (1) CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos**. 4°. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1977.
- (2) WILLIAN D. CALLISTER, J. **Ciência e engenharia de materiais; Uma Introdução**. 5°. ed. [S.l.]: [s.n.], 2002.
- (3) GENTIL, 2011, V.,1996, **Corrosão**. 3ª ed. Rio de Janeiro, Livros técnicos e Científicos Editora S.A.
- (4) Os danos da corrosão na economia, **Jornal Diário do Comércio**, 07 de junho de 2008. Acessível em: [http://diariodocomercio.com.br/noticia.php?tit=os danos da corrosao na \\_economia\\_&id=101214](http://diariodocomercio.com.br/noticia.php?tit=os%20danos%20da%20corrosao%20na%20economia_&id=101214); Último acesso: 19 de fevereiro de 2018.
- (5) SASTRI, V. S. Green Corrosion Inhibitors: **Theory and Practice**, First Edition. 2011 John Wiley & Sons, Inc. Published 2011 by John Wiley & Sons, Inc.
- (6) EL-ETRE, A. Y., ABDALLAH, M., EL-TANTAWWY, Z. E., Corrosion Inhibition of Metals Using Lawsonia Extract. **Corrosion Science**, n. 47, p. 385-395, 2005.
- (7) TORRES, V.V.; AMADO, R.S.; de SÁ, C.F.; FERNANDEZ, T.L.; RIEHL, C.A.S.; TORRES, A.G.; D'ELIA, E. Inhibitory action of aqueous coffee ground extracts on the corrosion of carbon steel in HCl solution. **Corrosion Science**, 53, p. 2385–2392, 2011.

- 
- (8) AKALEZI C. O.; ENENEBAKU C. K.; OGUZIE E. E. Application of aqueous extracts of coffee senna for control of mild steel corrosion in acidic environments. **International Journal of Industrial Chemistry**, p. 3-13, 2012.
- (9) SOUZA E. C. C. A.; RIPPER B. A.; PERRONE D.; ELIA E. D. Roasted coffee extracts as corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution, **Metal Researchs**, 19 (6), p. 1276-1285, 2016.
- (10) da ROCHA, J.C.; GOMES, J.A.C.P.; D'ELIA, E.; CRUZ, A.P.G.; CABRAL, L.M.C.; TORRES, A.G.; MONTEIRO, M.V.C. Grape Pomace Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solutions. **Int. J. Electrochem. Sci.**, 7, 11941 – 11956, 2012.
- (11) PEREIRA, S. S. A. A.; PÊGAS, MAGALHÃES. M.; FERNÁNDEZ, T. L.; et al. Inhibitory action of aqueous garlic peel extract on the corrosion of carbon steel in HCl solution, **Corrosion Science** 65, p. 360-366, 2012.
- (12) EL-ELTRE, A. Y., Inhibition of acid corrosion of carbon steel using aqueous extract of olive leaves. **Journal of Colloid and Interface Science**, 314, p. 578-583, 2007.
- (13) LI, X.; DENG, S.; FU, H. Inhibition Of the corrosion of steel in HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions by bamboo leaf extract. **Corrosion Science**, v. 62, p. 163-175, 2012.
- (14) ASHASSÍ-SORKHABI, H.; E' SHAGHI, M. Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid by betanin as green inhibitor. **Journal of Solid State Electrochemistry**, v. 13, n. 8, p. 1297-1301, 2009.
- (15) ROCHA, J. C.; GOMES, J. A.C.P.; D'ELIA, E. Corrosion inhibition of carbon steel in hydrochloric acid solutions by fruit peel aqueous extracts. **Corrosion Science**, v. 52, n. 7, p. 2341-2348, 2010.
- (16) SCHOLZ G. K. S.; MAGALHÃES M. L. M.; CAMPOS R. M.; LAGO D. C. B., SENNA L. F. **Avaliação de extrato de folhas de cafeeiro como inibidor de corrosão para aço carbono em meio ácido**. Intercorr 2016, Rio de Janeiro, 2016.
- (17) TEÓFILO, R. F., FERREIRA, M. M. C. Quimiometria II: planilhas eletrônicas para cálculos de planejamentos experimentais, um tutorial. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 338-350, 2006.
- (18) BAYOUDH, S.; OTHMANE, A.; PONSONNET, L.; OUADA, H.B. "Electrical detection and characterization of bacterial adhesion using electrochemical impedance spectroscopy-based flow chamber". **Colloids and Surfaces A: physicochemical and engineering aspects**, v.318, n. 1, pp. 291-300, 2008.
- (19) KINA, A. Y. **Inibidores de corrosão para sistemas de aço-carbono submetidos a meios de alta salinidade e presença de CO<sub>2</sub>**. Coppe UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.
- (20) HUSSIN, M. H., KASSIM, M. J. Electrochemical, Thermodynamic and Adsorption Studies of (+)-Catechin Hydrate as Natural Mild Steel Corrosion Inhibitor in 1M HCl. **International Journal of Electrochemical Science**, v.6, p. 1396- 1414, 2011.