

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

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

## Mitigação da Corrosão do Aço-Carbono 1020 em meio ácido na presença de diferentes extratos de Café (*Coffea canephora*)

Elaine Cesar do Carmo Assumpção de Souza<sup>a</sup>, Beatriz de Andrade Ripper<sup>b</sup>, Daniel Perrone Moreira<sup>c</sup>, Eliane D'Elia<sup>d</sup>

### Abstract

Many researchers have investigated the inhibitory action of extracts of natural products on the corrosion of carbon steel. This strategy offers low cost and follows the increasingly stringent environmental standards. The effects of aqueous extracts of coffee (*Coffea canephora*) on the corrosion of 1020 carbon steel in a 1 mol L<sup>-1</sup> HCl was examined. The polarization curves and the electrochemical impedance diagrams showed the examined extracts of coffee acted as a mixed-type inhibitor, with predominant cathodic effectiveness. The inhibition efficiency of the coffee extracts increased with temperature and the apparent activation energy associated with carbon steel corrosion decreased in the presence of the inhibitor. This behavior can be attributed to the chemisorption of the inhibitor on the steel surface and was consistent with the Langmuir adsorption isotherm, showing a linear correlation of 0,9999 and 1, which confirms the inhibitory action promoted by adsorption of molecules present in the extracts.

**Keywords:** corrosion inhibitors, coffee, impedance, 1020 carbon steel.

### Resumo

Muitos pesquisadores têm investigado a ação inibidora de extratos de produtos naturais na corrosão do aço-carbono. Esta estratégia oferece um bom custo-benefício e atende às normas ambientais, cada vez mais exigentes. O efeito dos extratos de café (*Coffea canephora*) sobre a corrosão do aço-carbono 1020 em solução 1 mol L<sup>-1</sup> de HCl foi investigado. As curvas de polarização e os diagramas de impedância eletroquímica mostraram que os extratos de café atuaram como um inibidor misto, com eficiência predominantemente catódica. Na presença dos extratos, houve aumento da eficiência de inibição com a temperatura e a energia de ativação aparente do processo de corrosão do aço-carbono diminuiu. Este comportamento é característico de um processo de quimissorção, sendo consistente com a isoterma de adsorção de Langmuir, onde os coeficientes de correlação linear obtidos foram 0,9999 e 1, confirmando a ação inibidora promovida pela adsorção de moléculas presentes nos extratos.

**Palavras-chave:** inibidores de corrosão, café, impedância, aço-carbono 1020.

<sup>a</sup> Pós-Graduação, Química – Instituto de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

<sup>b</sup> Pós-Graduação, Química – Instituto de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

<sup>c</sup> Dsc., Professor, Químico - Instituto de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

<sup>d</sup> Dsc., Professora, Química - Instituto de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

---

## Introdução

---

A corrosão é, em geral, um processo espontâneo, onde os materiais metálicos sofrem transformação, de forma a comprometer sua durabilidade e seu desempenho aos fins que se destinam (1). O processo corrosivo ocorre em diferentes meios, sendo que o mais comum é o meio aquoso.

Os problemas originados pela corrosão atingem as mais variadas atividades, como a indústria química, petrolífera, naval, de construção civil, automobilística, entre outras (1). Uma das maneiras de se reduzir a corrosão de metais é a utilização de inibidores de corrosão, que são espécies orgânicas ou inorgânicas que, ao serem adicionadas ao meio corrosivo em baixas concentrações, minimizam, previnem ou impedem o desenvolvimento das reações que dão início ao processo de corrosão. (2).

O aço-carbono é uma liga altamente empregada na indústria do petróleo, composta de 0,18% de C, 0,3% de Mn, 0,04% de P e 0,05% de S m/m, apresentando baixa resistência à corrosão na maioria dos meios naturais (3).

Este trabalho investigou a ação inibidora de extratos de café (*Coffea canephora*) verde (não torrado) e torrado, na corrosão do aço-carbono 1020 em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Foram realizados ensaios gravimétricos com variação de tempo e de temperatura. O comportamento eletroquímico do aço-carbono também foi investigado utilizando a técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS). Curvas de polarização anódica e catódica também foram obtidas e os parâmetros cinéticos foram determinados através da extrapolação das retas de Tafel. Com auxílio das isotermas de Langmuir e gráficos de Arrhenius foram obtidas informações a respeito do mecanismo de inibição.

---

## Metodologia

---

Os extratos aquosos de café verde (não torrado) e café torrado foram obtidos por infusão. Adicionou-se 10 g de cada tipo de grão de café, previamente triturado, em 100 mL de água destilada com temperatura de 100 °C, por 60 minutos. A solução foi filtrada, liofilizada e armazenada em temperatura de -4 °C até sua utilização. O meio corrosivo utilizado em todos os ensaios foram soluções de ácido clorídrico 1 mol L<sup>-1</sup>, preparadas a partir de HCl 37%, fornecido pela Merck Co. (Darmstadt – Alemanha) e água bidestilada.

Nos ensaios gravimétricos de imersão total foram utilizados corpos de prova de aço-carbono 1020 em forma retangular, com aproximadamente 14 cm<sup>2</sup> de área, em média. Antes de cada ensaio, os corpos de prova foram lixados, utilizando uma polítriz Aropol 2V, (Arotec), com lixas de diferentes granulometrias, em seguida foram jateados utilizando jato de areia, lavados com água destilada, desengordurados com acetona e secos com jato de ar quente. A área e a massa de cada corpo de prova foram ainda determinadas e, após o período de imersão de cada ensaio, os corpos de prova foram novamente lavados, secos e suas massas novamente determinadas.

A eficiência de inibição (EI) foi determinada de acordo com a equação 1:

$$EI \% = \frac{W_{\text{corr},0} - W_{\text{corr}}}{W_{\text{corr},0}} \quad (1)$$

Onde  $W_{\text{corr},0}$  é a taxa de corrosão na ausência do inibidor e  $W_{\text{corr}}$  é a taxa de corrosão na presença do inibidor.

Para a realização dos ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) e para a obtenção das curvas de polarização potenciodinâmica, utilizou-se um eletrodo de trabalho de aço-carbono de aproximadamente  $1 \text{ cm}^2$  de área. Para o preparo deste eletrodo, a placa de aço-carbono 1020 foi embutida em resina epóxi. Antes de cada ensaio, o eletrodo de trabalho foi lixado com lixas de diferentes granulometrias, lavado com água bidestilada, desengordurado com acetona e seco com ar quente. Montou-se uma célula eletroquímica de vidro termostaticada, composta do eletrodo de trabalho de aço-carbono, um eletrodo de referência de calomelano saturado (ECS) e um fio de platina de 0,5 mm de espessura com grande área superficial como contra-eletrodo. Para os ensaios eletroquímicos, foi utilizado um potenciostato Autolab – PGSTAT 128 N da marca Metrohm. Os ensaios de EIS foram realizados utilizando o programa FRA (Frequency Response Analyser System), que permite obter dados no intervalo de frequência de 10 kHz – 10 mHz, com pontos distribuídos na escala logarítmica, com 10 pontos/década, na amplitude de 10 mV (rms) no potencial de circuito aberto. As curvas de polarização foram obtidas utilizando o programa GPES (General Purpose Electrochemical System), com velocidade de varredura de  $1 \text{ mV s}^{-1}$  e os parâmetros cinéticos foram obtidos através da extrapolação das retas de Tafel. O potencial de circuito aberto foi determinado após o período de 5.400 segundos, onde foi observada sua estabilização.

A eficiência de inibição, determinada a partir dos dados obtidos nos ensaios de EIS e das curvas de polarização potenciodinâmica, seguiram as equações 2 e 3, respectivamente:

$$EI\% = \frac{R_{\text{ct}} - R_{\text{ct},0}}{R_{\text{ct}}} \quad (2)$$

Onde  $R_{\text{ct},0}$  é a resistência de transferência de carga na ausência do inibidor e  $R_{\text{ct}}$  é a resistência de transferência de carga na presença do inibidor, obtidas a partir do diagrama de EIS.

$$EI\% = \frac{j_{\text{corr},0} - j_{\text{corr}}}{j_{\text{corr},0}} \quad (3)$$

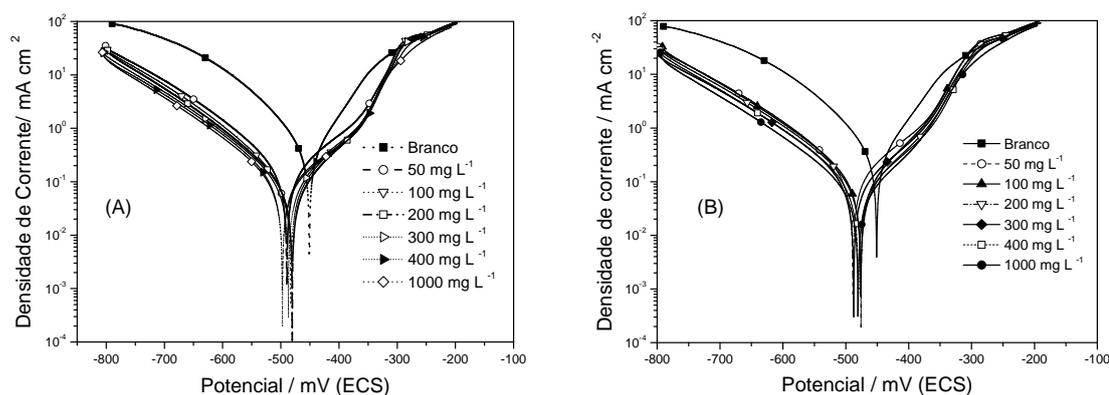
Onde  $j_{\text{corr},0}$  é a densidade de corrente de corrosão na ausência do inibidor, e  $j_{\text{corr}}$  é a densidade de corrente de corrosão na presença do inibidor, obtidas pela extrapolação das retas de Tafel.

## Resultados e discussão

### Curvas de Polarização Potenciodinâmica

A figura 1A e 1B apresenta as curvas de polarização potenciodinâmica para o aço-carbono 1020 em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e na presença de diferentes concentrações dos extratos de café verde e café torrado. Os parâmetros eletroquímicos, como potencial de corrosão ( $E_{\text{corr}}$ ), densidade de corrente de corrosão ( $j_{\text{corr}}$ ), bem como as constantes anódica ( $\beta_a$ ) e catódica ( $\beta_c$ ) de Tafel, são mostrados na tabela 1.

As curvas de polarização obtidas demonstraram que os extratos de café verde e café torrado exibiram comportamento semelhante. Com a adição dos extratos, houve deslocamento do potencial de corrosão para valores mais negativos. Entretanto, esse deslocamento não sugere que se trate de um inibidor catódico, pois essa classificação se aplica quando a diferença entre o potencial de corrosão é maior que 85 mV em relação ao ensaio sem inibidor (4-5). A eficiência de inibição aumentou ligeiramente com a concentração dos extratos a partir de 100 mg L<sup>-1</sup>.



**Figura 1 – Curvas de polarização anódica e catódica obtidas para o aço-carbono 1020 em solução de ácido clorídrico 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e na presença do extrato de café verde (A) e do extrato de café torrado (B), em diferentes concentrações.**

A presença dos extratos de café verde e café torrado diminuiu as densidades de corrente tanto do processo anódico (dissolução do metal) quanto do catódico (evolução de hidrogênio). Embora tenha se observado que houve um efeito inibidor em ambas as reações, a inibição catódica é visualmente mais expressiva, já que na região anódica, em potenciais mais elevados, a presença dos extratos não diminuiu a densidade de corrente. De acordo com a tabela 1, pode ainda ser observado que houve uma alteração considerável no parâmetro  $\beta_a$  com a adição dos extratos de café verde e torrado. Isso sugere uma modificação no mecanismo da reação de dissolução do metal. A presença do extrato praticamente não alterou o valor da constante de Tafel da reação catódica  $\beta_c$ , sugerindo que o inibidor não modifica o mecanismo da reação de redução de H<sup>+</sup> a H<sub>2</sub>.

**Tabela 1 – Parâmetros cinéticos obtidos para o aço-carbono 1020 em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e na presença dos extratos de café verde e café torrado, obtidos através da extrapolação das retas de Tafel**

<b>Extrato</b>						
<b>café verde</b>	<b>E<sub>CA</sub></b>	<b>E<sub>corr</sub></b>	<b>β<sub>a</sub></b>	<b>-β<sub>c</sub></b>	<b>j<sub>corr</sub></b>	<b>EI</b>
<b>mg L<sup>-1</sup></b>	<b>mV</b>	<b>mV</b>	<b>mV dec<sup>-1</sup></b>	<b>mV dec<sup>-1</sup></b>	<b>mA cm<sup>-2</sup></b>	<b>%</b>
0	-490	-446	61	90	0,313	-
50	-501	-482	115	109	0,133	58
100	-498	-476	94	106	0,075	76
200	-498	-476	96	108	0,069	78
300	-505	-482	95	111	0,074	76
400	-505	-493	107	116	0,077	75
1000	-507	-494	121	113	0,075	76

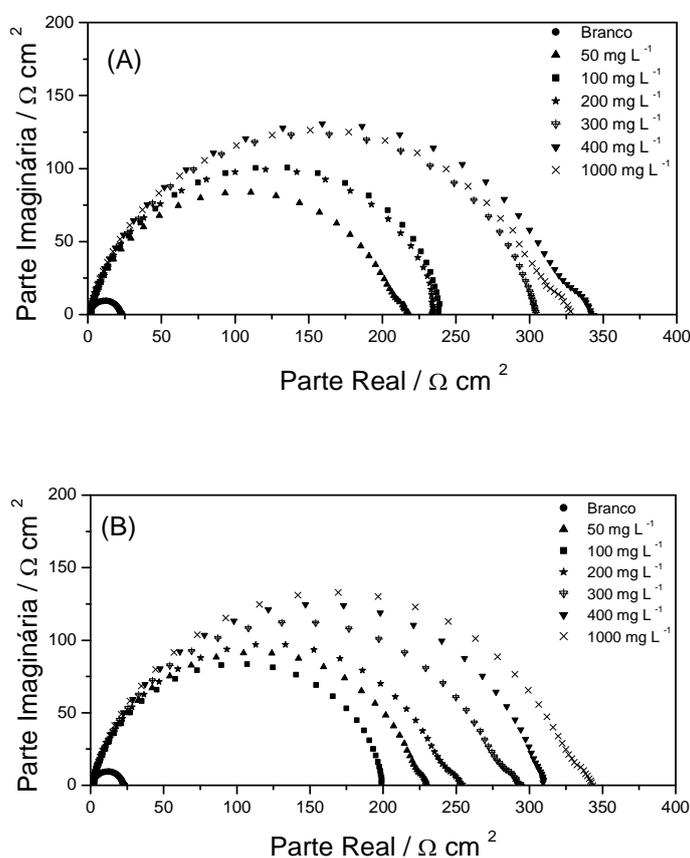
<b>Extrato</b>						
<b>café torrado</b>	<b>E<sub>CA</sub></b>	<b>E<sub>corr</sub></b>	<b>β<sub>a</sub></b>	<b>-β<sub>c</sub></b>	<b>j<sub>corr</sub></b>	<b>EI</b>
<b>mg L<sup>-1</sup></b>	<b>mV</b>	<b>mV</b>	<b>mV dec<sup>-1</sup></b>	<b>mV dec<sup>-1</sup></b>	<b>mA cm<sup>-2</sup></b>	<b>%</b>
0	-490	-446	61	90	0,313	-
50	-498	-483	108	113	0,120	62
100	-492	-471	82	102	0,076	76
200	-494	-470	87	105	0,068	78
300	-503	-481	96	107	0,075	76
400	-496	-472	109	94	0,065	79
1000	-495	-473	108	87	0,049	84

### **Ensaio de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS)**

A figura 2 ilustra os diagramas de EIS para o aço-carbono 1020 em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e na presença dos extratos de café verde e café torrado. Todos os ensaios apresentaram somente um arco capacitivo, que pode ser atribuído à capacitância da dupla camada elétrica e a uma constante de tempo de transferência de carga. A tabela 2 mostra os parâmetros eletroquímicos obtidos para o aço-carbono 1020, realizados na ausência e na presença dos extratos de café verde e café torrado, em diferentes concentrações. A capacitância da dupla camada elétrica (C<sub>dl</sub>) foi determinada através da equação 4:

$$C_{dl} = \frac{1}{2\pi f_{\text{máx}} R_{ct}} \quad (4)$$

Observa-se que, na presença do inibidor, há um aumento da resistência de transferência de carga ( $R_{ct}$ ) e diminuição da capacitância da dupla camada elétrica em relação ao ensaio sem inibidor, em todas as concentrações estudadas. Esses resultados podem ser atribuídos à adsorção de componentes presentes nos extratos de café verde e café torrado na interface metal/solução. Essa hipótese está de acordo com os resultados obtidos nos ensaios de polarização anódica e catódica anteriormente descritos.



**Figura 2 – Diagramas de Nyquist, obtidos para o aço-carbono 1020 em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e na presença dos extratos de café verde (A) e de café torrado (B), em diferentes concentrações.**

**Tabela 2 – Parâmetros eletroquímicos do aço-carbono 1020 em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e na presença de diferentes concentrações dos extratos de café verde e café torrado, obtidos através da técnica de EIS**

<b>Extrato café verde mg L<sup>-1</sup></b>	<b><i>f</i><sub>máx</sub> Hz</b>	<b><i>C</i><sub>dl</sub> μF cm<sup>-2</sup></b>	<b><i>R</i><sub>ct</sub> Ω cm<sup>2</sup></b>	<b>EI %</b>
0	28,14	257	22,0	-
50	11,05	66,5	217	90
100	8,75	76,3	238	91
200	11,05	60,6	238	91
300	8,75	59,8	304	93
400	11,05	42,2	341	94
1000	11,05	43,8	329	93

<b>Extrato café torrado mg L<sup>-1</sup></b>	<b><i>f</i><sub>máx</sub> Hz</b>	<b><i>C</i><sub>dl</sub> μF cm<sup>-2</sup></b>	<b><i>R</i><sub>ct</sub> Ω cm<sup>2</sup></b>	<b>EI %</b>
0	28,14	257	22,0	-
50	13,96	49,5	230	90
100	13,96	57,1	200	89
200	11,05	56,6	254	91
300	13,96	39,0	292	92
400	11,05	46,5	310	93
1000	11,05	42,1	343	94

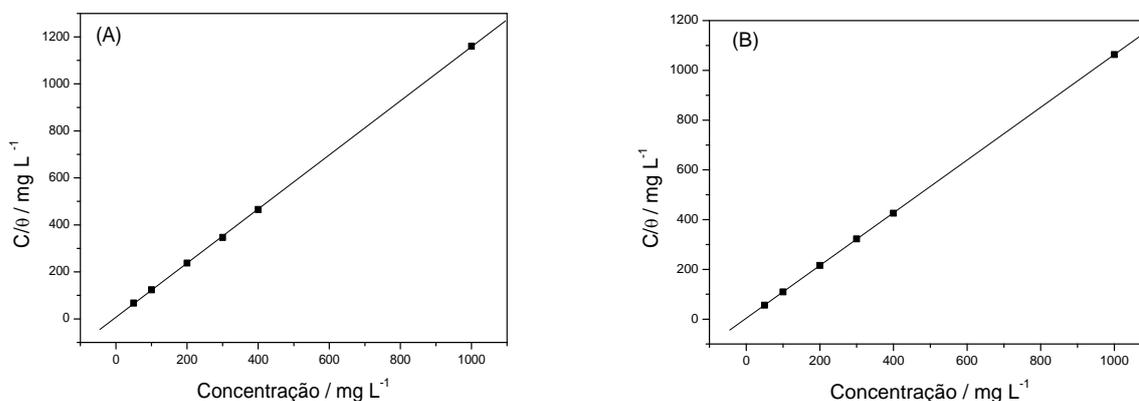
A eficiência de inibição é proporcional à fração de superfície recoberta ( $\theta$ ), que foi determinada utilizando os resultados dos ensaios de EIS e a equação  $\theta = EI/100$ . Utilizou-se o modelo da Isoterma de Langmuir, que descreve a relação entre o grau de adsorção do inibidor ( $\theta$ ) e sua concentração ( $c$ ). A isoterma de Langmuir é descrita conforme a equação 5:

$$c/\theta = c + 1/K \quad (5)$$

Onde  $K$  é a constante de equilíbrio de adsorção.

A figura 3 mostra os gráficos da isoterma de Langmuir para o aço-carbono 1020, utilizando os extratos de café verde e café torrado como inibidores. Os resultados mostram que a adsorção de substâncias presentes nos extratos de café verde e café torrado obedecem à isoterma de Langmuir, apresentando uma ótima linearidade, com  $r = 0,9999$  para o extrato de café verde e  $r = 1$  para o extrato de café torrado, com coeficientes angulares de 1,1 e 1,06, respectivamente, evidenciando que a ação inibidora dos extratos é função de um filme formado pela adsorção de moléculas presentes nos extratos.

Os valores encontrados para as constantes de adsorção dos extratos foram  $K = 0,144 \text{ L mg}^{-1}$  para o extrato de café verde e  $K = 0,290 \text{ L mg}^{-1}$  para o extrato de café torrado. Esses valores sugerem que as substâncias que se adsorvem ao aço-carbono 1020, responsáveis pela inibição da corrosão, presentes nos extratos de café verde e café torrado, podem não ser as mesmas.



**Figura 3 – Isotermas de Langmuir obtidas a partir dos dados de EIS para os extratos de café verde (A) e de café torrado (B) em solução de HCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , em diferentes concentrações.**

### Ensaio gravimétricos com variação do tempo

A tabela 3 mostra os resultados dos ensaios gravimétricos de imersão total para o aço-carbono 1020 na ausência e na presença dos extratos de café verde e café torrado, com variação do tempo. Os ensaios foram realizados nos períodos de 6 h, 24 h e 48 h, em diferentes concentrações dos extratos. Em todos os ensaios, observa-se uma diminuição na taxa de corrosão do aço-carbono 1020 e aumento na eficiência de inibição em relação ao ensaio sem inibidor, para ambos os extratos de café. Entretanto, analisando o tempo de imersão, observa-se que, nos ensaios utilizando  $50 \text{ mg L}^{-1}$  e  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de extrato de café verde e  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de café torrado, há um aumento na taxa de corrosão do aço-carbono a partir de 24 horas de imersão, com conseqüente diminuição da eficiência de inibição. Esse comportamento pode ser devido à degradação de algumas substâncias presentes nos extratos. Os resultados também demonstram que para concentrações a partir de  $200 \text{ mg L}^{-1}$  do extrato de café verde e  $100 \text{ mg L}^{-1}$  do extrato de café torrado, os valores de eficiência de inibição não sofrem alteração muito pronunciada entre 24 h e 48 h de imersão. O aumento da concentração dos extratos também não causa um aumento significativo nos valores de eficiência de inibição, o que corrobora os resultados obtidos a partir das curvas de polarização e de impedância eletroquímica.

Esses resultados demonstram que o extrato de café verde atua como um inibidor estável do aço-carbono 1020 utilizando concentrações do extrato a partir de  $200 \text{ mg L}^{-1}$  e o extrato de café torrado é um bom inibidor utilizando concentrações acima de  $100 \text{ mg L}^{-1}$ .

**Tabela 3 - Ensaio de imersão total para o aço-carbono 1020 em solução de ácido clorídrico 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e na presença dos extratos de café verde e café torrado, em diferentes concentrações e tempos de imersão.**

Extrato café verde mg L <sup>-1</sup>	W		W		W	
	g cm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> 6 horas	EI %	g cm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> 24 horas	EI %	g cm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> 48 horas	EI %
0	0,002630	-	0,002213	-	0,001456	-
50	0,000684	74	0,000441	81	0,000521	64
100	0,000510	81	0,000191	91	0,000160	89
200	0,000415	84	0,000172	92	0,000112	92
300	0,000356	86	0,000144	94	0,000090	94
400	0,000372	86	0,000133	94	0,000083	94
1000	0,000364	86	0,000113	95	0,000075	95

Extrato café torrado mg L <sup>-1</sup>	W		W		W	
	g cm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> 6 horas	EI %	g cm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> 24 horas	EI %	g cm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> 48 horas	EI %
0	0,002630	-	0,002213	-	0,001456	-
50	0,000778	70	0,000235	89	0,000358	75
100	0,000586	78	0,000198	91	0,000100	93
200	0,000420	84	0,000190	91	0,000088	94
300	0,000386	85	0,000145	93	0,000079	95
400	0,000361	86	0,000113	95	0,000079	95
1000	0,000296	89	0,000132	94	0,000066	95

### Ensaio gravimétrico com variação de temperatura

O efeito da temperatura na corrosão do aço-carbono 1020 em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, variando desde 35 °C a 65 °C foi investigado. Os ensaios foram realizados na ausência e na presença de 400 mg L<sup>-1</sup> dos extratos de café verde e café torrado, durante 2 horas de imersão. Os resultados são mostrados na tabela 4 e verifica-se que, com o aumento da temperatura, houve aumento da taxa de corrosão, para ambos os extratos.

A energia de ativação aparente relacionada à corrosão do aço-carbono 1020 foi determinada graficamente, utilizando a equação de Arrhenius:

$$\log W_{\text{corr}} = \frac{-E_a}{2,303 RT} + \log A \quad (6)$$

Onde  $W_{\text{corr}}$  é a taxa de corrosão,  $E_a$  é energia de ativação aparente,  $A$  é o fator pré-exponencial,  $T$  é a temperatura absoluta e  $R$  é a constante universal dos gases ideais. A figura 4 mostra os gráficos de Arrhenius, obtidos a partir dos resultados dos ensaios realizados com variação de temperatura, na ausência e na presença dos extratos de café verde e café torrado.

Os resultados apresentaram uma boa linearidade, apresentando valores de coeficiente de correlação linear ( $r$ ) igual a 0,9999 para os ensaios realizados na ausência do inibidor, 0,9997 para os ensaios realizados na presença do extrato de café verde e 0,9999 para os ensaios realizados na presença do extrato de café torrado. Os valores de energia de ativação aparente apresentaram os seguintes valores: 34 kJ/mol para os ensaios realizados na ausência de inibidor, 23 kJ/mol para os ensaios realizados na presença do extrato de café verde e 24 kJ/mol para os ensaios realizados na presença do extrato de café torrado.

Observa-se que, houve uma diminuição da energia de ativação nos ensaios realizados com os extratos de café verde e torrado, em relação ao ensaio realizado sem inibidor. Esse comportamento, aliado ao aumento da eficiência de inibição com a temperatura, caracteriza um mecanismo de adsorção química dos compostos presentes nos extratos sobre a superfície metálica.

**Tabela 4 – Ensaios de imersão total para o aço-carbono 1020, em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, em diferentes temperaturas, na ausência e na presença de 400 mg L<sup>-1</sup> dos extratos de café verde e café torrado**

Temperatura °C	Branco	Café Verde		Café Torrado	
	W g cm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	W g cm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	EI %	W g cm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	EI %
35	0,005031	0,001231	76	0,001261	75
45	0,009137	0,001661	82	0,001659	82
55	0,013038	0,002103	84	0,002249	83
65	0,019981	0,002786	86	0,002831	86

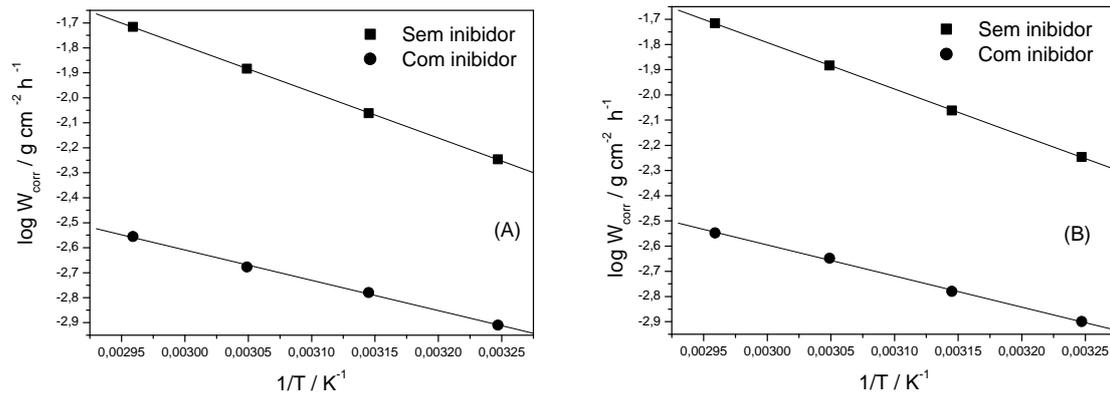


Figura 4 – Gráficos de Arrhenius para o aço-carbono 1020 em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na ausência e na presença de 400 mg L<sup>-1</sup> dos extratos de café verde (A) e café torrado (B), em função da taxa de corrosão, em diferentes temperaturas

---

## Conclusões

---

Os ensaios realizados, utilizando os extratos de café verde e café torrado como inibidores da corrosão do aço-carbono 1020, mostraram os seguintes comportamentos:

- De acordo com os diagramas obtidos nos ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica, a presença dos extratos de café verde e café torrado inibiu a corrosão do aço-carbono 1020 em todas as concentrações estudadas, com valores de eficiências de inibição de até 94%.
- As curvas de polarização obtidas mostraram que houve inibição tanto no processo de dissolução metálica, quanto no processo de formação de hidrogênio, sendo a inibição do processo catódico mais proeminente.
- O potencial de corrosão foi deslocado para valores ligeiramente mais negativos na presença dos extratos de café verde e café torrado, confirmando o comportamento observado nas curvas de polarização.
- O mecanismo de inibição se adequou à isoterma de Langmuir, com coeficiente de correlação linear ( $r$ ) de 0,9999 para o café verde e 1 para o café torrado.
- As constantes de adsorção  $K$ , determinadas graficamente a partir das isotermas de Langmuir, sugerem que as substâncias responsáveis pela inibição, presentes nos extratos de café verde e café torrado e que se adsorvem ao aço-carbono 1020, podem não ser as mesmas.
- Nos ensaios gravimétricos, houve aumento da eficiência de inibição com o tempo a partir de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de inibidor e o aumento da concentração dos extratos não influenciou de forma significativa a eficiência de inibição na corrosão do aço-carbono 1020.
- Os ensaios gravimétricos com variação de temperatura mostraram que, na presença dos extratos de café verde e café torrado, houve aumento da eficiência de inibição com a temperatura e diminuição da energia de ativação em relação ao ensaio sem inibidor, caracterizando um mecanismo de adsorção química.
- Os extratos de café verde e café torrado atuaram como bons inibidores de corrosão do aço-carbono 1020 em  $\text{HCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ .

**Referências bibliográficas**

---

- (1) – GENTIL, V., **Corrosão**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 6ª edição, 2011.
- (2) – BRETT, A.M.O., BRETT, C.M.A., **Electroquímica – Princípios, Métodos e Aplicações**. Livraria Almedina, Coimbra, 1ª edição, 1996.
- (3) – PEREIRA, S.S.A.A., **Óleo de Alho e Extratos da Casca de Alho como Inibidores Naturais de Corrosão**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.
- (4) - TORRES,V.V., AMADO, R.S., SÁ, C.F., *et al.*, 2011, Inhibitory action of aqueous coffee ground extracts on the corrosion of carbon steel in HCl solution, **Corrosion Science**, v.53, pp.2358-2392.
- (5) – SATAPATHY, A.K., GUNASEKARAN, G., SAHOO, S.C., AMIT, K., RODRIGUES, P.V., **Corrosion. Science**. 51 (2009) 2848 – 2856.