

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

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

Avaliação da atividade anticorrosiva de derivados da classe 1,3,4-tiadiazólio-2-fenilaminas frente ao aço carbono em meio ácido
Frauches-Santos, Cristiane^a, Echevarria Aurea^b

Abstract

Corrosion is causing major problems in various activities as well as great material damage. This study examined hydroxy-substituted heterocyclic compounds of the 1,3,4-thiadiazole-2-phenylamine class in chloridrate form, thus aiming to synthesize new thiadiazole derivatives and investigate their anti-corrosive performance using electrochemical experimental techniques in acidic medium on AISI 1020 carbon steel. The methods to evaluate the corrosion activity were: potentiodynamic polarization, linear polarization resistance and electrochemical impedance spectroscopy. Results for inhibition efficiency, using the three electrochemical techniques, presented an improvement at the concentration of 3.15×10^{-4} mol L⁻¹. The results showed that the use of thiadiazole chloridrate is a promising alternative in inhibiting corrosion of AISI 1020 carbon steel in acidic solution.

Keywords: thiadiazole, steel, anticorrosion activity, electrochemical impedance spectroscopy, potentiodynamic polarization.

Resumo

A corrosão é a causadora de grandes problemas nas mais variadas atividades e provoca grandes prejuízos materiais. Neste trabalho foram avaliados compostos heterocíclicos da classe 1,3,4-tiadiazólio-2-fenilamina hidróxi-substituídos na forma de cloridratos. Portanto, o objetivo deste foi sintetizar novos derivados tiadiazólicos e investigar seu comportamento anticorrosivo utilizando as técnicas experimentais eletroquímicas em meio ácido com aço carbono AISI 1020. Os métodos empregados para avaliação da atividade anticorrosiva foram: polarização potenciodinâmica, resistência de polarização linear e espectroscopia de impedância eletroquímica. Os resultados obtidos para eficiência de inibição, nas três técnicas eletroquímicas utilizadas foram correlacionados e, mostraram que a concentração de $3,15 \times 10^{-4}$ mol L⁻¹ apresentava a melhor inibição frente a corrosão. Os resultados obtidos permitiram concluir que a utilização dos cloridratos tiadiazólicos se apresenta como alternativa promissora na inibição à corrosão de aço carbono AISI 1020 em solução ácida.

Palavras-chave: tiadiazol, aço, atividade anticorrosiva, espectroscopia de impedância eletroquímica, polarização potenciodinâmica.

^a Mestre, Química Industrial – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

^b PHD, Química – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Introdução

O aço-carbono é largamente utilizado nas indústrias químicas, petroquímicas e indústrias de petróleo por causa de seu baixo custo, elevada resistência mecânica e estabilidade térmica (1). As soluções de ácidos são amplamente utilizadas para a remoção de ferrugem em vários processos industriais (decapagem ácida, limpeza ácida industrial, limpeza de equipamentos de refinaria de petróleo, entre outros), provocando corrosão e, resultando em grandes perdas econômicas e grandes problemas nas mais variadas atividades (2, 3).

Para reduzir a corrosão por ataque do ácido na superfície metálica são adicionados inibidores nas soluções ácidas. O uso de compostos orgânicos como inibidores de corrosão, geralmente, contendo heteroátomos (tais como N, O, S e P), anéis aromáticos e/ou, π elétrons são muito utilizados devido as suas adsorções sobre a superfície do metal através da formação de uma ligação covalente coordenada (adsorção química) ou por interação eletrostática entre o metal e o inibidor (adsorção física) (3, 4).

Nos últimos anos, estudos relatam como inibidores orgânicos de corrosão a eficiência de compostos heterocíclicos, como cloretos mesoiônicos (5, 6, 7, 8), que pode estar relacionada a presença de átomos de nitrogênio e enxofre que são geralmente mais ativos quando comparados a compostos com oxigênio (4).

Neste trabalho avaliou-se as propriedades inibidoras dos cloretos heterocíclicos da classe 1,3,4-tiadiazólio-2-fenilamina substituídos com grupos hidroxila na inibição da corrosão do aço carbono AISI 1020 em soluções de HCl 1,0 mol L⁻¹, usando técnicas eletroquímicas de polarização potenciodinâmica (PP), resistência a polarização linear (RPL) e de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE).

Metodologia

Para realizar a síntese dos cloretos heterocíclicos utilizou-se 1,4-difenil-tiossemicarbazida como intermediário obtida a partir da reação do isotiocianato de fenila (A) com fenil-hidrazina (B) em tolueno e sob refluxo. Após a obtenção da 1,4-difenil-tiossemicarbazida, esta foi adicionada aos aldeídos hidróxi-substituídos em 1,4-dioxano para homogeneizar a mistura de reação. Posteriormente, foi adicionado cloreto de tionila em excesso, atuando como ácido de Lewis. A mistura foi submetida à irradiação em forno de micro-ondas por 15 minutos na potencia de 1100 kW (9). A Figura 1 mostra o esquema de retrossíntese para a obtenção dos compostos.

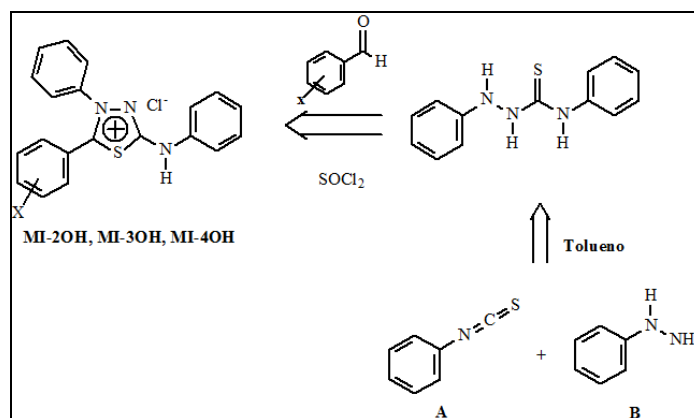


Figura 1. Rota retrossintética para a obtenção dos cloridratos heterocíclicos.

Para avaliação do efeito anticorrosivo foram utilizadas técnicas eletroquímicas. Preparou-se soluções estoques dos cloretos heterocíclicos nas concentrações de $3,15 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $9,4 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $1,5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$; $2,5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$; $3,15 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ em soluções de $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ de HCl. Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente utilizando em uma cela eletroquímica com três eletrodos: um eletrodo de trabalho de aço carbono AISI 1020 com $0,986 \text{ cm}^2$ de área de superfície, um eletrodo auxiliar de platina e um eletrodo de referência prata/cloreto de prata (Ag/AgCl). As medidas foram realizadas no equipamento potenciostato/galvanostato AUTOLAB, modelo PGSTAT, e os dados obtidos nos ensaios de PP, RPL e EIE foram analisados usando o software NOVA 1.9.

As medidas de polarização foram realizadas com uma velocidade de varredura de 1 mV s^{-1} na gama de potencial entre $\pm 200 \text{ mV}$ em torno do potencial de corrosão (E_{corr}). As medições de nos ensaios de EIE foram realizadas em potenciais de corrosão (E_{corr}), num intervalo de $0,1 - 100.000 \text{ Hz}$, com uma amplitude de 10 mV pico a pico, utilizando um sinal de corrente alternada. Nos ensaios de RPL, foram aplicados na OCP potenciais na faixa de -10 mV a $+10 \text{ mV}$. A resistência à polarização (R_p) do aço carbono foi obtida pela inclinação da reta, e esse valor foi relacionado com a resistência à corrosão do material.

Resultados e discussão

Os cloridratos heterocíclicos avaliados neste trabalho com substituintes de natureza eletrônica de doadores de elétrons, grupo hidróxi, em diferentes posições (*orto*, *meta* e *para*), mostraram eficiência de inibição anticorrosiva.

Através das técnicas eletroquímicas, foram analisados os compostos MI-2OH, MI-3OH e MI-4OH. As eficiências de inibição, nas diferentes concentrações dos inibidores, foram calculadas utilizando a equação 1 (10).

$$\eta_{\text{LPR}} (\%) = (i_0 - i_1/i_0) \times 100 \quad (1)$$

onde i_0 e i_1 são as densidades de corrente de corrosão na ausência e na presença do inibidor, respectivamente.

Observando-se as curvas de PP (Figura 2) pode-se notar que, com o aumento da concentração de todos os agentes inibidores, os valores da densidade de corrente da corrosão (i_{corr}) diminuíram. Esta diminuição da i_{corr} na presença do inibidor pode ser devido à adsorção dos cloridratos heterocíclicos sobre a superfície do aço carbono. De acordo com as curvas de PP, a presença dos inibidores promoveu uma redução tanto da densidade de corrente anódica quanto na catódica, sendo mais acentuada na região anódica, e um deslocamento da E_{corr} na direção anódica. Estes resultados indicam que a adição dos inibidores de corrosão na solução reduz a dissolução anódica do aço e retarda a evolução catódica de hidrogênio, sendo um agente anticorrosivo misto com tendência anódica.

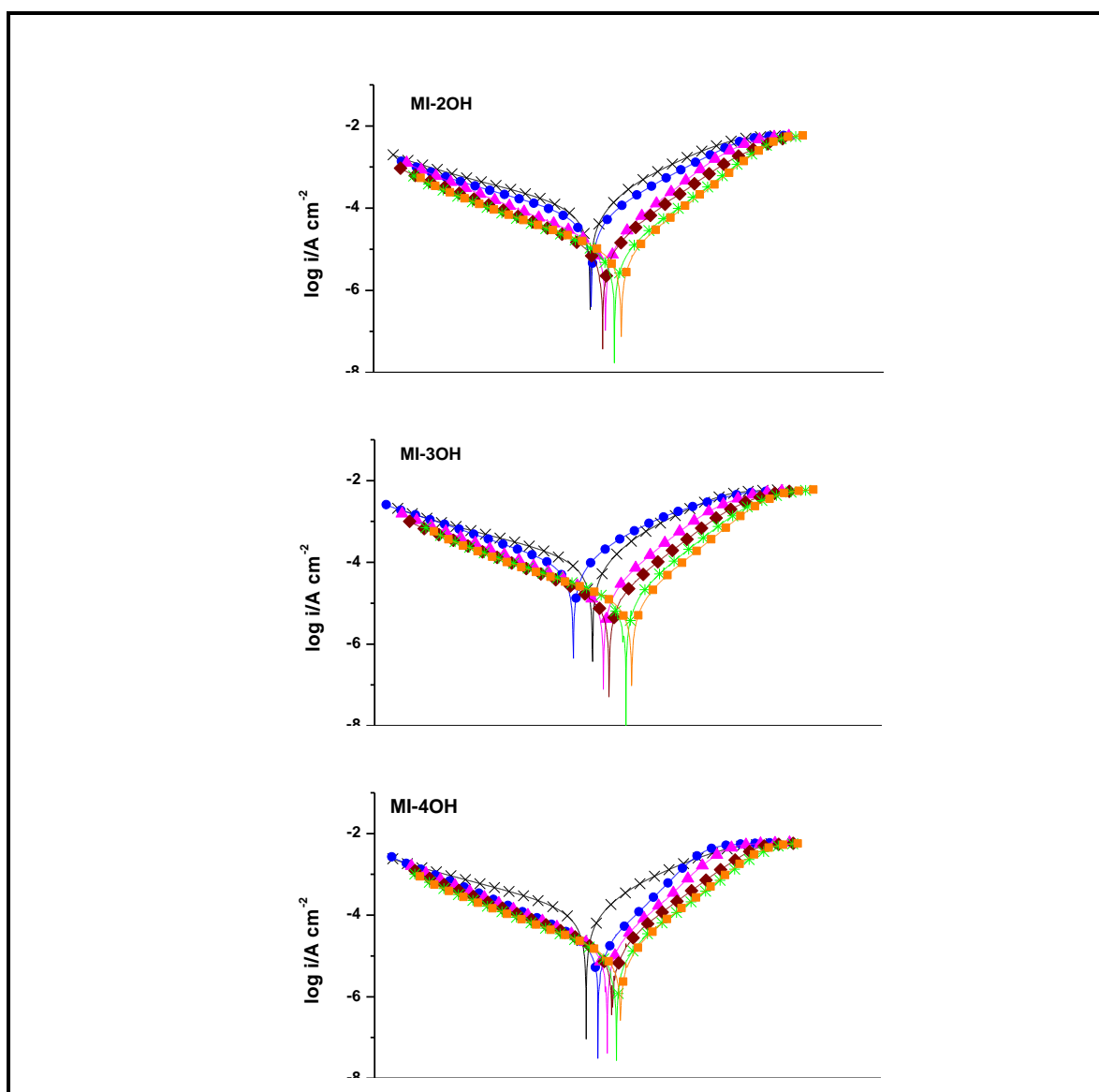


Figura 2. Curvas de polarização do aço carbono em HCl 1,0 mol L⁻¹, na ausência e presença dos cloridratos heterocíclicos frente ao aço carbono AISI 1020 nas seguintes concentrações: x Branco (sem inibidor); ● 3,15x10⁻⁵ mol L⁻¹; ▲ 9,4 x10⁻⁵ mol L⁻¹; ◆ 1,5x10⁻⁴ mol L⁻¹; * 2,5x10⁻⁴ mol L⁻¹; ■ 3,15 x 10⁻⁴ mol L⁻¹.

Para avaliar a eficiência de inibição dos cloretos heterocíclicos através de medições de resistência à polarização linear (RPL), foram obtidos os valores R_p e a eficiência calculada a partir das curvas de corrente x potencial, de acordo com a seguinte equação:

$$R_p = \Delta E / \Delta i$$

$$\eta_{RPL} (\%) = [(R_p - R_p^0) / R_p] \times 100$$

onde R_p e R_p^0 são as resistências à polarização de corrosão na ausência e na presença do inibidor, respectivamente.

Os parâmetros obtidos a partir dos ensaios de PP e RPL utilizando-se os cloridratos heterocíclicos da classe dos 1,3,4-tiadiazólio-2-fenilaminas estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros eletroquímicos para o aço carbono AISI 1020 em solução de HCl 1,0 mol L⁻¹ na ausência e na presença dos cloridratos heterocíclicos.

	C ^a (mol L ⁻¹)	E _{corr} ^b (V)	i _{corr} ^c (10 ⁻⁵ A/cm ²)	V _c ^d (mm/ano)	R _p ^e (Ω)	η _{RPL} ^f (%)
Branco^f	-	-0,47807	13,5	1,5737	199,74	
MI-2OH	3,15x10 ⁻⁵	-0,4657	2,12	0,24581	757,77	48
	9,40 x10 ⁻⁵	-0,4559	1,78	0,20693	987,81	78
	1,50 x10 ⁻⁴	-0,45115	1,59	0,18454	1209,7	81
	2,50 x10 ⁻⁴	-0,44621	1,20	0,13994	1665,3	86
	3,15 x10 ⁻⁴	-0,44248	1,18	0,1366	1623,6	86
MI-3OH	3,15x10 ⁻⁵	-0,49235	10,1	1,1735	253,01	11
	9,40 x10 ⁻⁵	-0,4609	2,11	0,24505	868,72	64
	1,50 x10 ⁻⁴	-0,45496	1,31	0,15186	1390,9	78
	2,50 x10 ⁻⁴	-0,43731	1,33	0,15497	1417,7	81
	3,15 x10 ⁻⁴	-0,43138	1,15	0,13319	1679,7	82
MI-4OH	3,15x10 ⁻⁵	-0,4621	3,25	0,37788	444,38	48
	9,40 x10 ⁻⁵	-0,4559	1,78	0,20693	987,81	78
	1,50 x10 ⁻⁴	-0,45115	1,59	0,18454	1209,7	81
	2,50 x10 ⁻⁴	-0,44621	1,20	0,13994	1665,3	86
	3,15 x10 ⁻⁴	-0,44248	1,18	0,1366	1623,6	86

^aConcentração; ^bpotencial de corrosão; ^cdensidade de corrente; ^dvelocidade de corrosão; ^eResistência de corrosão; ^f eficiência de inibição em solução de HCl 1 mol L⁻¹.

Nos ensaios de EIE (Figura 3) observou-se um único semicírculo deslocado ao longo do eixo de impedância real (Z_{real}), indicando que todos os compostos testados apresentaram eficiência anticorrosiva controlada por um processo de transferência de carga (11). As eficiências de inibição para cada concentração dos inibidores foram calculadas usando a equação 2 (12).

$$\eta_{EIE} = [(R_{ct} - R_{ct}^0) / R_{ct}] \times 100 \quad (2)$$

onde R_{ct} e R_{ct}^0 são as resistências de transferência de carga, na presença e ausência do inibidor, respectivamente.

Os gráficos de Nyquist (Figura 3) mostraram um arco capacitivo, sendo que este comportamento é devido ao fato do eletrodo aço carbono gerar respostas relativas à formação de um filme passivo. A resistência à corrosão de um sistema pode ser avaliada a partir da forma dos diagramas de Nyquist.

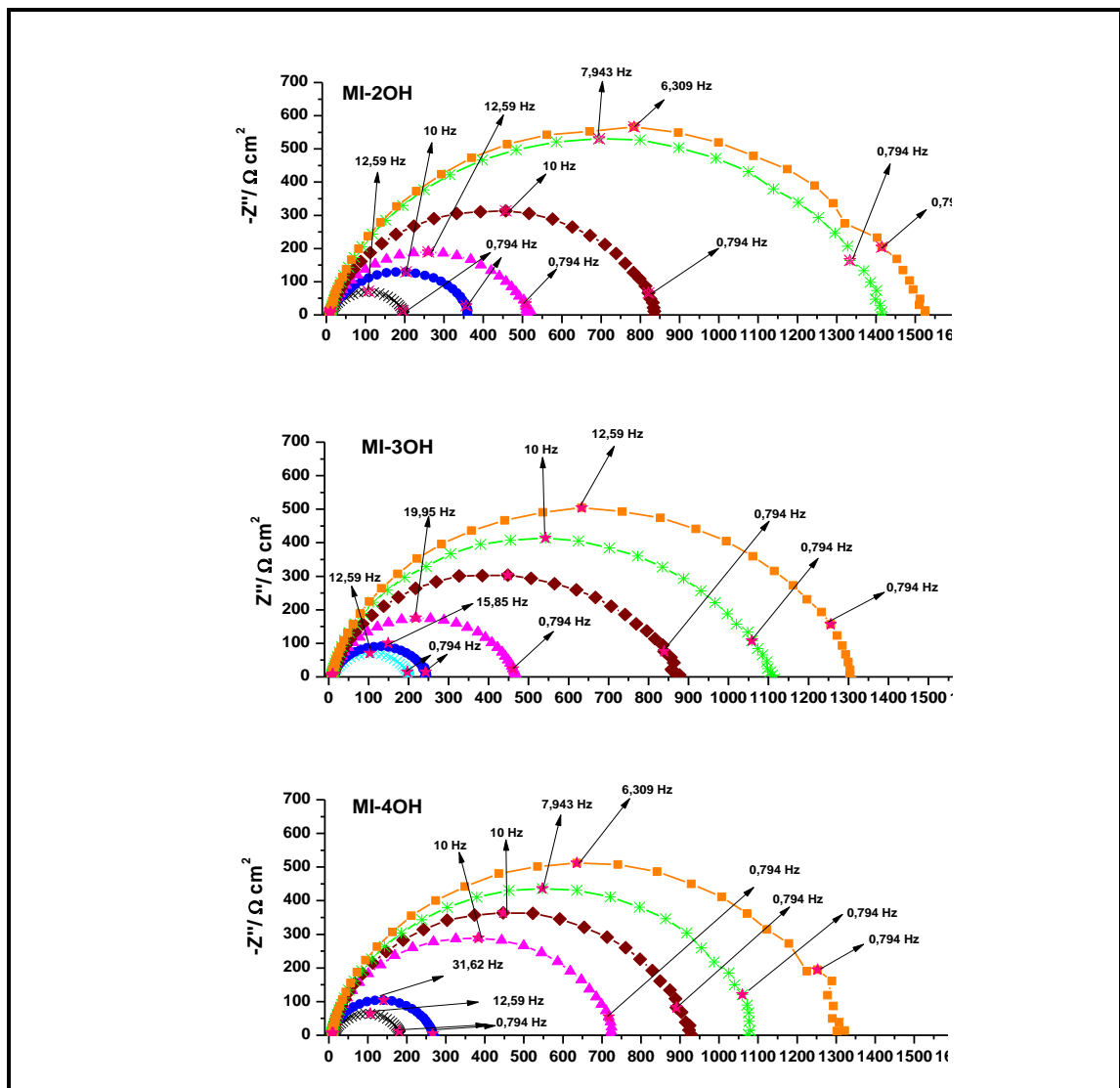


Figura 3. Diagramas de Nyquist em solução de HCl 1,0 mol L⁻¹ do aço carbono AISI 1020, na ausência e presença dos cloridratos heterocíclicos nas seguintes concentrações: x Branco (sem inibidor); ● 3,15x10⁻⁵ mol L⁻¹; ▲ 9,4 x10⁻⁵ mol L⁻¹; ◆ 1,5x10⁻⁴ mol L⁻¹; * 2,5x10⁻⁴ mol L⁻¹; ■ 3,15 x 10⁻⁴ mol L⁻¹.

Todos os espectros de EIE foram analisados usando o circuito equivalente mostrado na Figura 4, onde R_s representa a resistência da solução e R_{ct} a resistência de transferência de carga, cujo valor é uma medida da transferência eletrônica através da superfície e é inversamente proporcional à taxa de corrosão. O elemento de fase constante, CPE, é introduzido no circuito para se obter um ajuste mais preciso (13).

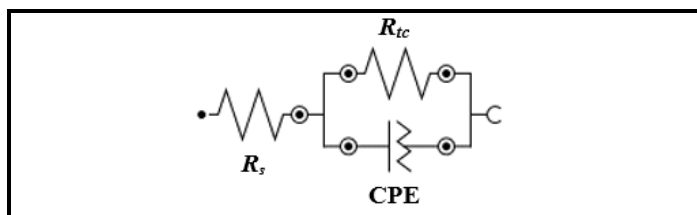


Figura 4. Circuito equivalente utilizado para ajustar o espectro de impedância eletroquímica.

Os parâmetros eletroquímicos a partir das curvas de Nyquist, incluindo R_{ct} , C_{dl} , Y_0 e n , foram obtidos a partir do ajuste dos dados gravados da EIS usando o circuito equivalente, conforme Figura 4, e estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados obtidos nos ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica para aço carbono em $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ HCl com os cloridratos heterocíclicos em diferentes concentrações.

	C^a (mol L^{-1})	R_{ct}^b ($\Omega \text{ cm}^2$)	R_s (Ω)	n	Y_0 ($\mu\text{F cm}^{-2}$)	η^c (%)
Branco		197,808	7,93	0,755	189	-
MI-2OH	$3,15 \times 10^{-5}$	359,503	7,94	0,759	112	45
	$9,40 \times 10^{-5}$	511,409	8,59	0,831	53,6	61
	$1,50 \times 10^{-4}$	835,214	9,8	0,849	32,5	76
	$2,50 \times 10^{-4}$	1414,82	9,5	0,861	25,3	86
	$3,15 \times 10^{-4}$	1525,79	8	0,861	26,5	87
MI-3OH	$3,15 \times 10^{-5}$	276,254	8,29	0,838	74,1	27
	$9,40 \times 10^{-5}$	467,627	7,13	0,818	48,3	57
	$1,50 \times 10^{-4}$	869,648	7,41	0,856	31,6	67
	$2,50 \times 10^{-4}$	1109,71	8,43	0,875	25,2	82
	$3,15 \times 10^{-4}$	1303,8	7,56	0,868	25,8	85
MI-4OH	$3,15 \times 10^{-5}$	266,441	7,86	0,857	41,4	31
	$9,40 \times 10^{-5}$	724,163	8,07	0,878	34,8	75
	$1,50 \times 10^{-4}$	928,702	8,65	0,881	30,0	80
	$2,50 \times 10^{-4}$	1075,25	9,17	0,880	29,9	83
	$3,15 \times 10^{-4}$	1301,07	7,13	0,877	31,6	86

^aConcentração; ^bResistência de transferência de carga; ^ceficiência de inibição em solução de HCl 1 mol L^{-1} .

A melhor eficiência de inibição da corrosão apresentada utilizando-se as técnicas eletroquímicas foi para o MI-2OH com 86% na concentração de $3,15 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ na metodologia de RPL e de 86% na concentração de $3,15 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ na metodologia de EIE.

Com os valores da impedância consegue-se calcular a capacitância de dupla camada (C_{dl}), que nos fornece dados sobre o filme de proteção que está sendo formado sobre a superfície do metal. Para conseguir esses dados utiliza-se a equação 3.

$$C_{dl} = Y_0(w_{\text{máx}})^{n-1} \quad (3)$$

A Tabela 3 mostra os valores utilizados para o cálculo da capacitância da dupla camada.

Tabela 3 - Valores utilizados no cálculo de ΔG_{ads} e da capacitância da dupla camada (C_{dl}) para o aço carbono AISI 1020 em solução 1 mol L⁻¹ de HCl para os cloridratos heterocíclicos.

Amostra	C ^a (mol L ⁻¹)	θ^b	R_{ct}^c (Ω cm ²)	$f_{\text{máx}}^d$ (Hz)	C_{dl}^e 10 ⁻⁵ (mF cm ⁻²)	K_{ads}^f 10 ⁺⁴ (mol ⁻¹)	$\Delta G_{\text{ads}}^{g*}$ 10 ⁺⁴ (KJ)
Branco	-			12,59	111,88		
MI-2OH	3,15x10 ⁻⁵	0,45	359,503	10	64,30	4,14	-3,63
	9,40 x10 ⁻⁵	0,61	511,409	12,59	34,94	3,73	-3,60
	1,50 x10 ⁻⁴	0,76	835,214	10	22,95	3,43	-3,58
	2,50 x10 ⁻⁴	0,86	1414,82	7,943	18,96	3,00	-3,55
	3,15 x10 ⁻⁴	0,87	1525,79	6,309	20,51	2,77	-3,53
MI-3OH	3,15x10 ⁻⁵	0,27	276,254	15,85	47,36	4,14	-3,63
	9,40 x10 ⁻⁵	0,57	467,627	19,95	28,01	3,73	-3,60
	1,50 x10 ⁻⁴	0,76	869,648	10	22,68	3,43	-3,58
	2,50 x10 ⁻⁴	0,81	1109,71	10	18,89	3,00	-3,55
	3,15 x10 ⁻⁴	0,84	1303,8	7,943	20,38	2,77	-3,53
MI-4OH	3,15x10 ⁻⁵	0,31	266,441	31,62	25,26	4,14	-3,63
	9,40 x10 ⁻⁵	0,75	724,163	10	26,28	3,73	-3,60
	1,50 x10 ⁻⁴	0,80	928,702	10	22,81	3,43	-3,58
	2,50 x10 ⁻⁴	0,83	1075,25	7,943	23,31	3,00	-3,55
	3,15 x10 ⁻⁴	0,86	1301,07	6,309	27,27	2,77	-3,53

^aConcentração; ^bcobertura de superfície; ^cresistência de transferência de carga; ^dfrequência máxima; ^ecapacitância de dupla camada; ^fconstante de adsorção; ^gparâmetro de energia livre ^{*}Constante dos gases nobres R = 8,314 J mol⁻¹ K⁻¹, temperatura T = 298 K.

Assim, pode ser sugerido que a inibição da corrosão envolvendo os cloridratos tiadiazólicos ocorre por mecanismo de adsorção química, pois o enxofre (S) é um átomo mole, com grande polarizabilidade, doando seus elétrons livres presentes no orbital *d*, para o orbital *d* do metal (Fe), com maior facilidade, formando uma ligação forte entre inibidor-metal e assim, formar um filme de proteção aderido sobre a superfície metálica.

A determinação do parâmetro de energia livre permite investigar se o mecanismo anticorrosiva está ocorrendo via formação fissionorção ou quimissorção. Os valores de ΔG_{ads} foram obtidos a partir da equação 4:

$$\Delta G_{ads} = -RT \ln(55,5K_{ads}) \quad (4)$$

Os valores negativos de ΔG_{ads} (energia livre de Gibbs) significam que o processo de adsorção é espontâneo. Assim, analisando-se os valores de ΔG_{ads} podemos concluir que todos os inibidores de corrosão testados, se adsorvem com mais força sobre a superfície metálica, devido aos valores negativos.

Geralmente, ΔG_{ads} apresenta valores entre 0 e de -20 kJ/mol para interações eletrostáticas entre as moléculas carregadas e a superfície do metal carregada (fissionorção), enquanto que, os que estão abaixo -40 kJ/mol envolvem o compartilhamento ou a transferência de carga das moléculas orgânicas com a superfície metálica para formar uma ligação covalente coordenada (quimissorção). Estes valores indicam que os processos de adsorção dos inibidores avaliados sobre a superfície do aço carbono podem envolver interações complexas (adsorção física e química) (3,14).

A Figura 5 mostra o gráfico com as retas sobrepostas de C/θ contra C (C = concentração) onde os valores dos coeficientes de correlação linear obtidos foram de 0,999 para MI-2OH, 0,985 para MI-3OH e 0,985 para MI-4OH. A inclinação da reta para cada amostra foi 1,000 para MI-2OH, 1,080 para MI-3OH e 0,996 para MI-4OH, demonstrando que a adsorção dos cloretos mesoiônicos estudados em solução de HCl 1 mol L⁻¹ em aço carbono obedece a isoterma de adsorção de Langmuir.

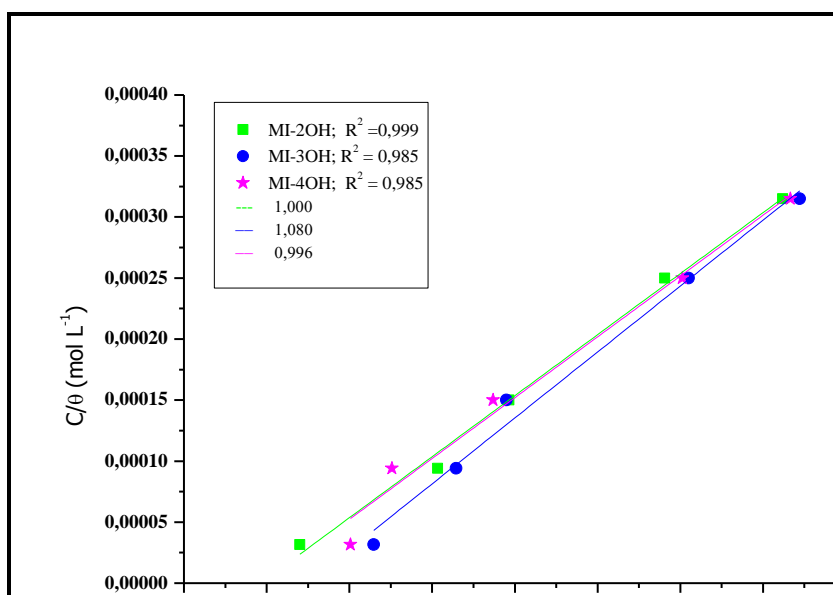


Figura 5 – Isoterma de Langmuir para os cloridratos tiadiazólicos em superfície de aço carbono AISI 1020 na presença de HCl 1 mol L⁻¹.

Conclusões

A avaliação da atividade anticorrosiva de cloridratos 1,3,4-tiadiazólio-2-fenilaminas em meio ácido sobre aço-carbono AISI 1020 utilizando as três técnicas eletroquímicas mostrou o aumento da eficiência de inibição da corrosão com o aumento da concentração dos inibidores.

A técnica da PP mostrou que todos os compostos avaliados podem ser classificados como inibidores mistos com tendência anódica, atuando na redução da dissolução anódica de aço e retardando as reações catódicas da evolução do hidrogênio. Já as medidas de EIE mostraram que quanto, mais desenvolvido for o arco capacitivo, maior será o diâmetro do semicírculo extrapolado no eixo real da impedância (Z'), indicando, também, o aumento da eficiência na inibição da corrosão.

Os resultados obtidos permitiram, então, concluir que a utilização dos cloridratos tiadiazólicos estudados podem se apresentar como uma alternativa promissora na inibição à corrosão de aço carbono AISI 1020 em solução ácida.

Referências bibliográficas

- (1) VERMA, C.; QURAISHI M. A.; SINGH, A. 2-Amino-5-nitro-4,6-diarylcyclohex-1-ene-1,3,3-tricarbonitriles as new and effective corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl: Experimental and theoretical studies. **Journal of Molecular Liquids**, v. 212, p. 804–812, 2015.
- (2) VERMA, C.; SINGH, A.; PALLIKONDA, G.; CHAKRAVARTY, M.; QURAISHI, M. A.; BAHADUR, I.; EBENSO, E. E. Aryl sulfonamidomethylphosphonates as new class of green corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl: Electrochemical, surface and quantum chemical investigation. **Journal of Molecular Liquids**, v. 209, p. 306–319, 2015.
- (3) GOULART, C. M.; ESTEVES-SOUZA, A.; MARTINEZ-HUITLE, C. A.; RODRIGUES, C. J. F.; MACIEL, M. A. M.; ECHEVARRIA, A. Experimental and theoretical evaluation of semicarbazones and thiosemicarbazones as organic corrosion inhibitors. **Corrosion Science**, v. 67, p. 281–291, 2013.
- (4) DAOUD, D.; DOUADI, T.; HAMANI, H.; CHAFAA, S.; AL-NOAIMI, M.; Corrosion inhibition of mild steel by two new S-heterocyclic compounds in 1 M HCl: Experimental and computational study. **Corrosion Science**, v. 94, p. 21–37, 2015.
- (5) VOSTA, V. J. Quantenchemische Bewertung von Nitron als Inhibitor der Korrosion. **Werkstoff e und Korrosion**, p. 487–489, 1972.
- (6) MOURA, M. S. S. B. E. C. M.; SOUZA, A. D. N; ROSSI, C. G. F. T.; SILVA, D. R.; MACIEL, M. A.M.; ECHEVARRIA, A. Avaliação do potencial anticorrosivo de tiossemicarbazonas solubilizadas em microemulsão. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 59–62, 2013.
- (7) CHEN, W.; HONG, S.; LI, H. B.; LUO, H. Q.; LI, M.; LI, N. B. Protection of copper corrosion in 0,5M NaCl solution by modification of 5-mercaptop-3-phenyl-1,3,4-thiadiazole-2-thione potassium self-assembled monolayer. **Corrosion Science**, v. 61, p. 53–62, 2012.
- (8) PALOMAR-PARDAVÉ, M.; ROMERO-ROMO, M.; HERRERA-HERNÁNDEZ, H.; ABREU-QUIJANO, M. A.; LIKHANOVA, N. V.; URUCHURTU, J.; JUÁREZ-GARCÍA, J.

M. Influence of the alkyl chain length of 2 amino 5 alkyl 1,3,4 thiadiazole compounds on the corrosion inhibition of steel immersed in sulfuric acid solutions. **Corrosion Science**, v. 54, n. 1, p. 231–243, 2012.

(9) REIS, C. M.; MAIA FILHO, D. C.; ECHEVARRIA, A. Síntese de mesoiônicos utilizando irradiação em forno de micro-ondas. **Revista Universidade Rural: Série Ciências Exatas e da Terra**, p. 139–142, 2004.

(10) TIAN, H.; LI, W.; CAO, K.; HOU, B. Potent inhibition of copper corrosion in neutral chloride media by novel non-toxic thiadiazole derivatives. **Corrosion Science**, v. 73, p. 281–291, 2013.

(11) KHALED, K. F. Adsorption and inhibitive properties of a new synthesized guanidine derivative on corrosion of copper in 0,5M H₂SO₄. **Applied Surface Science**, v. 255, p. 1811–1818, 2008.

(12) SUDHEER; QURAIISHI, M. A. Electrochemical and theoretical investigation of triazole derivatives on corrosion inhibition behavior of copper in hydrochloric acid medium. **Corrosion Science**, 70, p. 161–169, 2013.

(13) TORRES, V. V.; RAYOL, V.A.; MAGALHÃES, M.; VIANA, G.M.; AGUIAR, L.C.S.; MACHADO, S.P.; OROFINO, H.; D'Elia, E. Study of thioureas derivatives synthesized from a green route as corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution. **Corrosion Science**, 79, 108-118, 2014.

(14) HE, X.; JIANG, Y.; LI, C.; WANG, W.; HOU, B.; WU, L Inhibition properties and adsorption behavior of imidazole and 2-phenyl-2-imidazoline on AA5052 in 1,0M HCl solution. **Corrosion Science**, v. 83, p. 124–136, 2014.