Copyright 2010, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Análise eletroquímica e de superfície do efeito do benzotriazol na corrosão do aço-carbono 1005 em meio de cloreto de sódio

Juliana V. Custódio [1], Silvia M. L. Agostinho [2], Paola Corio[2], Jean C. S. Costa, Alda M. P. Simões [3]

Abstract

Benzotriazole (BTAH) is known for more than fifty years as a powerful inhibitor for copper. Recently, it was shown its effect on copper alloys, iron, ferrous alloys and zinc. Previous studies in acid medium, by Raman spectroscopy and impedance measurements showed that its inhibitory action for iron is due to the formation of a complex with Fe (II). In this work it was studied the inhibitory action of BTAH on 1005 carbon steel in 0.01 M NaCl. Open circuit potential transitory, potentiodynamic polarizations, electrochemical impedance spectroscopy, XPS and Raman spectroscopy were employed as techniques. In the lowest concentration studied, 0.001 M, the inhibitory action was not measurable. At higher concentration, 0.1 M, impedance values at low frequencies present fluctuations suggesting the presence of an unstable film. BTAH acts as an inhibitor for oxygen reduction and iron oxidation reactions. In its presence occurs a change in the mechanism of processes from diffusion control to charge transfer control. XPS analysis showed that the presence of BTAH decreases the FeO content on the steel surface but it maintains constant the presence of Fe_2O_3. Nitrogen was observed with 400.26 eV energy corresponding the molecular BTAH, however it was observed the presence of a complex with iron using "ex situ" Raman spectroscopy.

Resumo

Benzotriazol (BTAH), o mais simples entre os compostos triazólicos é reconhecidamente há mais de cinquenta anos um importante inibidor para cobre. Mais recentemente foi verificada sua atuação sobre ligas de cobre, ferro, ligas ferrosas e zinco. Estudos prévios, em meio ácido, por espectroscopia Raman e impedância eletroquímica mostraram que sua ação inibidora para o ferro é devida à formação de um complexo com Fe(II). Neste trabalho se estudou a ação inibidora do BTAH sobre aço-carbono 1005 em meio de NaCl 0,01 mol.L^{-1}. Foram empregadas como técnicas: medidas de potencial de circuito aberto, polarização potenciodinâmica, impedância eletroquímica, XPS e espectroscopia Raman. A concentração de BTAH variou entre 0,1 mol.L^{-1} e 0,001 mol.L^{-1}. Na mais baixa concentração estudada, 0,001 mol.L^{-1}, a ação inibidora não foi mensurável.

[1] Mestre, Química - IQUSP
[2] PHD, Engenheira Química (Docente) – IQUSP
[2] PHD, Química (Docente) - IQUSP
[2] Mestre, Químico - IQUSP
[3] PHD, Engenheira Química (Docente) – IST - Lisboa

Na maior concentração, 0,1 mol.L^{-1}, os valores de impedância a baixas frequencias apresentam flutuações, sugerindo a presença de um filme instável. O BTAH na concentração 0,01 mol.L^{-1} atua como inibidor sobre as reações de redução do oxigênio e oxidação do ferro. Os resultados de impedância mostram uma mudança no mecanismo dos processos na presença de BTAH, passando de controle difusional para controle de transferência de carga. As análises por XPS mostraram que a presença do BTAH diminui a porcentagem de FeO na superfície do aço e mantém a de Fe_2O_3 constante. A presença de nitrogênio foi observada com energia de 400,26 eV, que corresponde ao BTAH molecular, caracterizando a natureza do filme adsorvido, por outro lado, foi possível mostrar por espectroscopia Raman " ex situ" a presença de um complexo com ferro.

Palavras-chave: Aço-Carbono, Corrosão, Benzotriazol, Técnicas eletroquímicas, XPS, Raman.

Introdução

A corrosão se manifesta de várias formas em nossa vida diária e trata-se de um problema oneroso e severo para a ciência dos materiais. Além disso, nos dias atuais, com a problemática ambiental, as pesquisas vêm sendo realizadas também sob esta perspectiva. O desenvolvimento de produtos e serviços que diminuam ou não promovam impactos ambientais tornou-se uma necessidade. Dentre a gama infinita de produtos e serviços, os inibidores de corrosão são um exemplo e estão frequentemente sendo estudados levando em conta o aspecto ambiental. Inibidores à base de cromatos e nitritos, por exemplo, são tóxicos e vêm sendo substituídos por inibidores de baixa toxicidade ou quase nula e que apresentam boa eficiência inibidora em baixas concentrações. Compostos orgânicos contendo heteroátomos como nitrogênio e enxofre são usualmente empregados como inibidores de corrosão[1,2,3]. De uma maneira geral uma forte ligação coordenada promove elevada eficiência inibidora e a inibição aumenta na sequencia O < N < S < P[4].

Este trabalho tem como objetivo verificar a atuação do benzotriazol sobre o aço-carbono 1005 em meio de NaCl 0,01 mol.L^{-1}.

Revisão bibliográfica / Resultados / Discussão

Os compostos heterocíclicos, como os triazólicos representam uma importante classe de inibidores de corrosão[5,6,7,8]. e vêm sendo largamente estudados para materiais ferrosos[9,10,11,12]. O benzontriazol é o mais simples da classe dos triazólicos[13]. Os estudos do seu emprego como inibidor de corrosão se iniciaram com cobre e suas ligas em uma larga variedade de ambientes. O mecanismo mais aceito de atuação do BTAH, sobre estes materiais, é através da formação de um complexo polimérico com Cu(I), o benzotriazolato cuproso, [Cu(I)BTA] [14].

Costa et al[15,16], nos seus estudos sobre cobre em meio de H_2SO_4 0,5 mol.L^{-1} verificou que a adição de BTAH em concentrações baixíssimas, da ordem de 10^{-7} mol.L^{-1}, eleva o potencial de corrosão de 10 a 15 mV. Em meio de HCl 1,0 mol.L^{-1} foi observado que o BTAH atua de maneira menos efetiva sobre o cobre. Em meio de cloreto, o filme foi caracterizado como sendo, além do composto polimérico [Cu(I)BTA], constituído do complexo misto $(Cu(I)ClBTA)_4$.[17], mais solúvel que o primeiro. A presença de uma camada

duplex consistindo de CuCl poroso externa e uma camada interna de Cu(I)BTA não porosa tambem foi verificada. Sobre latão, no mesmo meio, o filme formado sobre Cu-Zn(30) foi caracterizado como sendo um complexo polimérico Cu(I)BTA composto de multicamadas.

Em meio de cloreto de sódio 0,5 mol.L^{-1} Kosec et al[18], mostraram que alem do cobre e suas ligas, o benzotriazol também se mostrou um inibidor eficiente para o zinco. As camadas superficiais formadas foram caracterizadas por impedância e XPS e os autores atribuem à formação de dois polímeros [Cu(I)BTA] e [Zn(II)BTA] e componentes de óxido.

Outros estudos com BTAH foram feitos em meio de tetraborato de sódio, pH 10, sobre latão, sem e com a adição de íons cloreto e mostraram que as densidades de corrente anódicas aumentam com o tempo de imersão tanto na ausência quanto na presença de íons cloreto, no entanto são consideravelmente menores na presença do inibidor. O grau de cobertura aumenta com o aumento da concentração de BTAH e a maior cobertura se apresentou no maior tempo estudado, de 48h[19]. Sobre aço inoxidável 304[20,21] o emprego de BTAH em meio ácido aumenta a resistência à corrosão.

Santos[22] verificou que o benzotriazol 0,1 mol.L^{-1} para um aço carbono 1010 em meio de NaCl 0,5 mol.L^{-1} chega a uma eficiência inibidora de 99%. Observa-se também que o BTAH promove uma região de passivação dentro de um intervalo de 300 mV, onde a densidade de corrente é da ordem de décimos de microampéres/cm^{-2}.

Estudos feitos por Silva et al[23] com aço-carbono em meio de H_2SO_4 0,5 mol.L^{-1} contendo BTAH mostraram uma máxima eficiência igual a (96±2)% correspondente à concentração 0.01 mol.L^{-1} do inibidor. Os resultados cronoaperométricos mostraram que a cinética de adsorção do inibidor é rápida e que o valor estacionário de corrente é obtido em um intervalo de tempo menor quanto maior a concentração de BTAH.

Custódio et al[24] estudaram aço-carbono 1005, 1008 e 1010 em meio de H_2SO_4 0,5 mol.L^{-1} empregando o benzotriazol em várias concentrações. Os resultados mostraram o aumento da eficiência com o aumento da concentração do inibidor para todos os aços, chegando a um máximo de 96±1 para o aço 1010. As análises de superfície por microscopia eletrônica de varredura mostraram que este inibidor atua na superfície do metal. No entanto, não atua nos pontos de inclusões permitindo a dissolução da matriz no entorno das mesmas.

Babic et al[25], verificou o efeito do benzotriazol e derivados para ferro em meio de HCl e $HClO_4$. O BTAH aumentou a eficiência inibidora com o aumento da concentração em ambos os meios e em $HClO_4$ apresentou a melhor eficiência inibidora do que seus derivados. Este efeito aumenta com o tempo de imersão de 16 horas. A adsorção do inibidor segue a isoterma de Lagmuir.

Procedimento Experimental

1) Materiais e soluções

O aço-carbono estudado apresenta a seguinte composição química em % massa: 0.04 C, 0.3 Mn, 0.14 P, 0.014 S, 0.05 Al e Fe como balanço. O eletrólito usado foi cloreto de sódio (p.a.) 0.01 mol.L^{-1} e benzotriazol (p.a.) 0.1 mol.L^{-1}. Para o tratamento superficial as amostras foram lixadas sucessivamente com lixa de carbeto de silício até grana 4000, lavadas com álcool e secas com ar quente. Todos os experimentos foram realizados a temperatura ambiente (25±1)^{0}C e em meio naturalmente aerado.

2) Medidas Eletroquímicas

Os experimentos eletroquímicos foram realizados da forma convencional com três eletrodos. Eletrodo de calomelano saturado como eletrodo de referencia e platina de grande área como contra eletrodo. As amostras de aço-carbono foram fixadas numa resina com uma área exposta de 0,15 cm^2. Após cada medida o eletrodo de trabalho foi polido, lavado e seco.

2.1) Medida de potencial de circuito aberto (E_{corr})

Após o tratamento superficial o eletrodo de trabalho foi colocado em contato com a solução de estudo e mediu-se o potencial de circuito aberto em função do tempo, obtendo-se o seu valor quase estacionário, o potencial de corrosão (E_{corr}).

2.2) Polarização potenciodinâmica

As polarizações potenciodinâmicas foram realizadas empregando um μAUTOLAB TYPE III/FRA2. As curvas foram obtidas a partir do E_{corr}, numa faixa de ±200 mV com uma velocidade de varredura (v.v.) de 1mV.s^{-1}.

2.3) Espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE)

A impedância foi realizada usando um potenciostato Fentostato GAMRY FAS1 Os espectros foram obtidos no potencial de corrosão (E_{corr}). O intervalo de freqüência estudado foi entre 10^4Hz-10^{-2}Hz com uma amplitude de ±10mV. As medidas foram realizadas com um período de 24 horas.

2.4) Espectroscopia de fotoelétron de Raio-X (XPS)

As análises por XPS foram realizadas empregando um 310F Microlab (*VG Scientific*). Os espectros foram obtidos no modo CAE (20 eV) com um anodo de alumínio não monocromado usando voltagem de aceleração de 15 kV. Amostras de aço-carbono, de 2x3 mm^2, após o tratamento superficial, foram expostas à solução de estudo por um período de 1 hora. Após este período as amostras foram lavadas com álcool e secas com jato de ar.

2.5) Espectroscopia Raman

Os espectros Raman foram obtidos para o BTAH sólido e para a superfície do aço-carbono, "ex situ", previamente imersa por 24 horas na solução de NaCl 0,01 mol.L^{-1} contendo BTAH 0,01 mol.L^{-1}.

Resultados

As curvas de potencial de circuito aberto apresentadas na - **Figura 1** - mostram que na menor concentração do inibidor o potencial é comparável ao observado com o branco, dentro do desvio experimental, e nas outras concentrações os potenciais evoluem para valores mais positivos. No entanto, na maior concentração estudada se nota uma oscilação no potencial por todo o intervalo de tempo estudado, ao contrário do observado na concentração 0,01 mol.L^{-1} de BTAH que atingiu um valor estacionário rapidamente e se manteve constante. O deslocamento do potencial de corrosão para BTAH 0,01 mol.L^{-1} foi

cerca de 100 mV e em 0,1 mol.L^{-1} de BTAH cerca de ≈200 mV, mostrando sua ação como inibidor anódico.

Na - **Figura 2** - são apresentadas as curvas de polarização potenciodinâmica após 1 hora de imersão. De uma maneira geral, em todas as concentrações, a atuação do inibidor foi em ambas as reações, sendo mais significativa sobre a reação anódica.

Na menor concentração se verifica um aumento da densidade de corrente no ramo anódico e uma pequena diminuição no ramo catódico. Em 0,01 mol.L^{-1} verifica-se a diminuição na densidade de corrente em ambos os ramos sem a presença de oscilações por toda a extensão de potencial analisada. Na maior concentração a densidade de corrente diminui e no ramo anódico cai uma ordem de grandeza. No entanto a presença de oscilações observadas no potencial de circuito aberto mostram a instabilidade do filme anódico indicando que este filme não apresenta boas características inibidoras. De uma maneira geral, o inibidor atua sobre as reações de redução do oxigênio e oxidação do ferro, se tratando de um inibidor misto.

As propriedades do filme formado foram analisadas por espectroscopia de impedância eletroquímica. Antes de proceder à aplicação da técnica, o sistema foi aguardado atingir a condição estacionária, ou seja, o potencial de corrosão E_{corr}. Os valores de resistência de polarização (R_p) foram adquiridos da componente real no valor de mais baixa freqüência, 0,01 Hz. Para a obtenção da eficiência inibidora se empregou a seguinte equação:

$$EI\% = (R_{p(I)} - R_{P(0)}) / R_{p(I)}$$

$R_{p(I)}$ = resistência de polarização na presença do inibidor;
$R_{p(0)}$ = resistência de polarização na ausência do inibidor.

Os diagramas de impedância, para um período de 1 hora de imersão, se encontram apresentados na - **Figura 3** - na forma de **(a)** Nyquist e **(b)** Bode.

No diagrama de Nyquist - **Figura 3a** -, na ausência do inibidor, o comportamento observado é característico de sistemas ativos. Na presença do inibidor um aumento nos valores de ambas as componentes imaginária e real da impedância ocorre de maneira significativa para a concentração 0,01 mol.L^{-1}, indicando que nesta concentração intermediária o BTAH foi mais efetivo. Também se observa a formação de um arco capacitivo deformado mostrando a presença de mais de uma constante de tempo. Os valores de impedância tanto quanto a forma dos diagramas são diferentes e mostram que a introdução do BTAH muda o mecanismo de corrosão[26].

Aumentando o tempo de imersão, para 24 horas, se verifica o aumento da impedância- **Figura 4a** - No diagrama de Bode - **Figura 4b** - o ângulo de fase atinge um valor máximo de 45° para a concentração 0,01 mol.L^{-1}, uma outra forma de mostrar que as características protetoras do filme são melhores para esta concentração intermediaria. Nota-se ainda a instabilidade dos valores de impedâncias a baixas frequências para a mais alta concentração estudada.

Na - **Tabela I** - são apresentados os valores de potencial de corrosão (E_{corr}), resistência de polarização (R_p) e eficiência inibidora (EI) após 24 horas de imersão. Pode-se notar que a presença do BTAH eleva o potencial de corrosão e que a resistência de polarização é menor do que na ausência do inibidor para a menor concentração estudada. Os resultados mostram que em 0,01 mol.L^{-1} o filme apresenta uma ação inibidora significativa. Estes resultados estão de acordo com os obtidos empregando as técnicas descritas anteriormente.

As análises de espectroscopia Raman realizadas sobre o aço na ausência e presença de 0,01 mol.L^{-1} de BTAH foram realizadas para melhor caracterização do filme na superfície

do aço-carbono. Foram adquiridos espectros Raman "ex-situ" após um período de 24 horas de imersão na solução de estudo.

Na - **Figura 5** - espectro **(a)** se apresenta o espectro do cristal de benzotriazol na forma neutra e os espectros **(b)** e **(c)** se referem a regiões distintas sobre a superfície do aço. Na - **Tabela II** - são apresentadas os valores de freqüências característicos do benzotriazol.

No caso do cristal de benzotriazol as frequências Raman que caracterizam esta espécie são: a torção do anel triazólico em 630 cm^{-1}, a respiração do anel benzênico em 780 cm^{-1}, o estiramento do anel triazólico em 1388 cm^{-1} e o estiramento do anel benzênico em 1594 cm^{-1}. Na análise do filme sobre o aço - **Figura 5b** - foram observadas variações significativas em todas as freqüências obtidas. Os espectros mostraram que a respiração do anel benzênico muda de 780 cm^{-1} para 788 cm^{-1}, a respiração do anel triazólico de 1210 cm^{-1} para 1203 cm^{-1}, o estiramento do anel triazólico de 1388 cm^{-1} para 1390 cm^{-1} e o estiramento do anel benzênico de 1594 cm^{-1} para 1574 cm^{-1}.

São muito conhecidas as formas iônicas do BTAH que podem ser as formas protonada (pH<2) e em meio básico desprotonada (pH>8)[27]. Estes processos podem ser descritos pelos seguintes equilíbrios:

$$BTAH + H^+ \leftrightarrow BTAH_2^+ \qquad pk \approx 1{,}6$$
$$BTAH + OH^- \leftrightarrow BTA^- + H_2O \qquad pk \approx 8{,}6$$

Em geral para verificar a presença das diferentes espécies de BTAH na superfície do metal se analisam as mudanças ocorridas no modo de vibração do anel triazólico.

A presença de um complexo com o ferro foi considerada, uma vez que as principais freqüências de vibração sofreram variações e a hipótese de um filme polimérico foi levantada em decorrência da variação das freqüências se darem por toda a molécula, ou seja, não só no anel triazólico, mas também no anel benzênico. Por outro lado, os resultados também sugerem a presença de regiões onde o inibidor não está presente, verificando-se apenas a presença de óxidos.- **Figura 5c**.

Estudos por espectroscopia Raman feitos por P. G. Cao et al[28], sobre ferro em solução salina de KCl mostraram que o filme formado na superfície do ferro era caracterizado por $[Fe(II)BTA_2]_n$. Segundo os autores o BTAH é quimiosorvido sobre a superfície do eletrodo através de uma ligação coordenada Fe-N. Sobre o ferro puro em meio de KCl empregando pré-tratamentos J. L. Yao et al[29], mostraram que o BTAH interage com os átomos de ferro através do anel triazólico formando um complexo polimérico $[Fe_n(BTAH)_p]_m$ inibindo a dissolução do ferro. Neste trabalho os autores também comentam que o complexo $[Fe_n(Cl)_p(BTA)]_m$ também pode ser formado. A formação deste filme complexo promove um melhor efeito barreira aumentando a eficiência. Rubin et al[30] em estudos com cobre em solução de KCl ácida relata a formação do complexo $[Cu(I)Cl(BTA)]_n$.

Para a identificação e quantificação das espécies na superfície os resultados de XPS - **Figura 6** - mostram a presença de cloreto, óxidos e hidróxidos que, no caso dos produtos com oxigênio, por muitas vezes já se originam do contato da amostra com o ar durante sua preparação - **Tabela III**. Todos os picos se reduzem na presença do BTAH sugerindo sua interação com o metal e os óxidos na superfície. A energia da molécula BTAH pode ser observada, com um valor de 400,26 eV, valor correspondente ao encontrado na literatura[31]. Na - **Tabela IV** - pode-se verificar melhor que a presença do inibidor promove uma diminuição da porcentagem em massa dos produtos com oxigênio e a presença do inibidor na superfície.

Conclusões

O benzotriazol 0,01 mol.L^{-1} se comporta como inibidor de corrosão para o aço-carbono 1005 em meio de NaCl 0,01 mol .L^{-1} . Comporta-se como inibidor misto atuando tanto na reação catódica de redução do oxigênio quanto na reação anódica de oxidação do ferro. As medidas de impedância mostram uma eficiência inibidora de cerca de 90%. As análises de XPS revelam a presença de benzotriazol molecular na superfície do aço e a espectroscopia Raman sugere a presença de um complexo com ferro.

Figuras e Tabelas

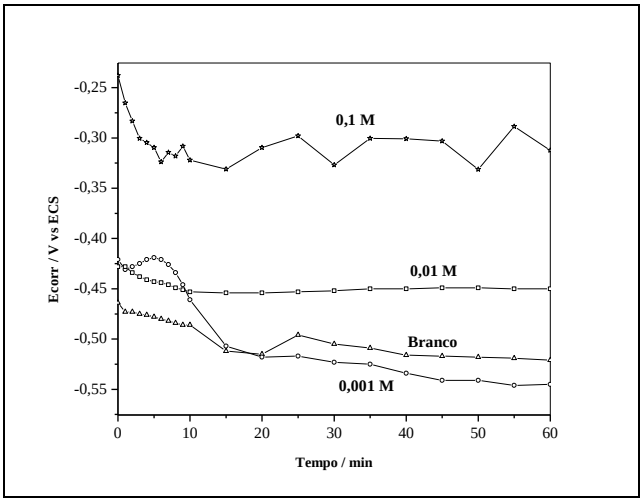

Figure 1: Potencial de corrosão (E_{corr}) do aço-carbono em meio de NaCl 0,01 mol.L^{-1} na presença e ausência de benzotriazol em várias concentrações após 1 hora de imersão.

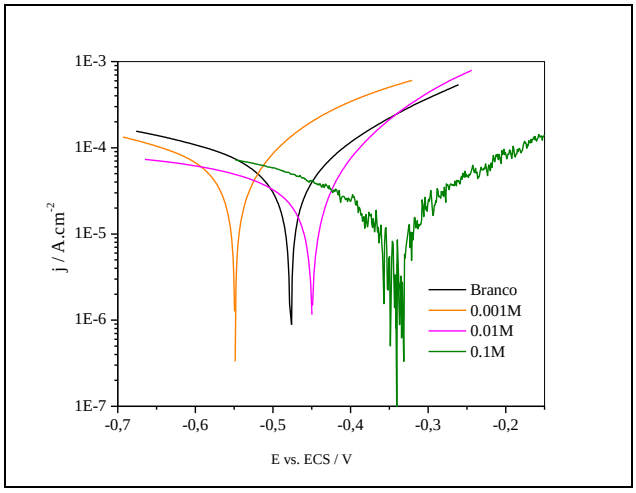

Figura 2: Polarização potenciodinâmica do aço-carbono em meio de NaCl 0,01 mol.L^{-1}, v.v. = 0.1mV.s^{-1}, na presença e ausência de BTAH em várias concentrações após 1 hora de imersão.

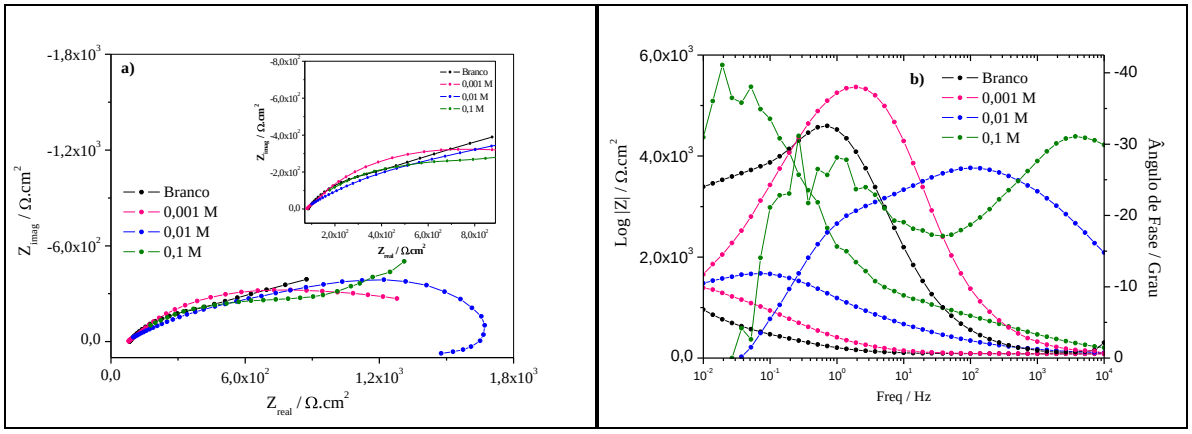

Figura 3: Diagramas de impedâncias **(a)** Nyquist e **(b)** Bode correspondentes ao aço-carbono em meio de NaCl 0,01 mol.L^{-1} na presença e ausência de BTAH em várias concentrações após 1 hora de imersão.

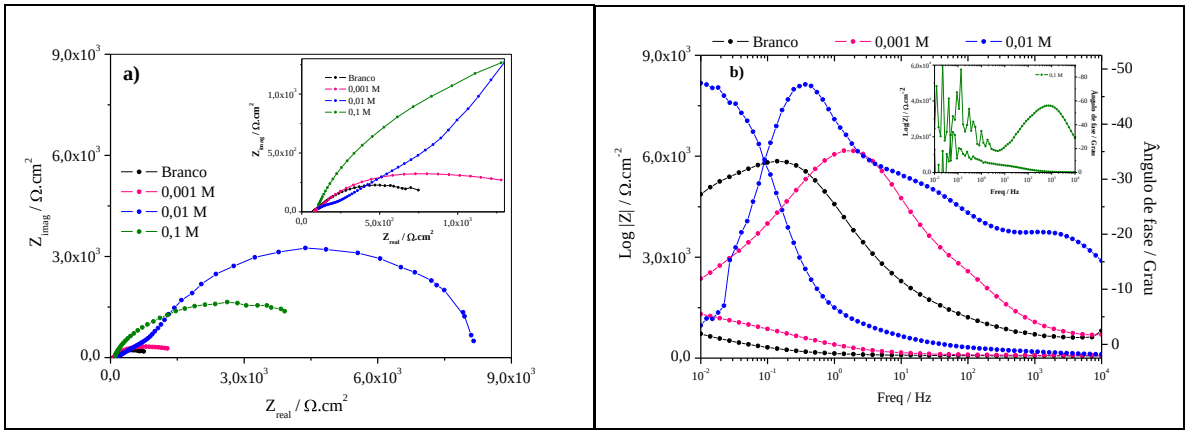

Figura 4: Diagramas de impedâncias **(a)** Nyquist e **(b)** Bode correspondentes ao aço-carbono em meio de NaCl 0,01 mol.L^{-1} na presença e ausência de BTAH em várias concentrações após 24 horas de imersão.

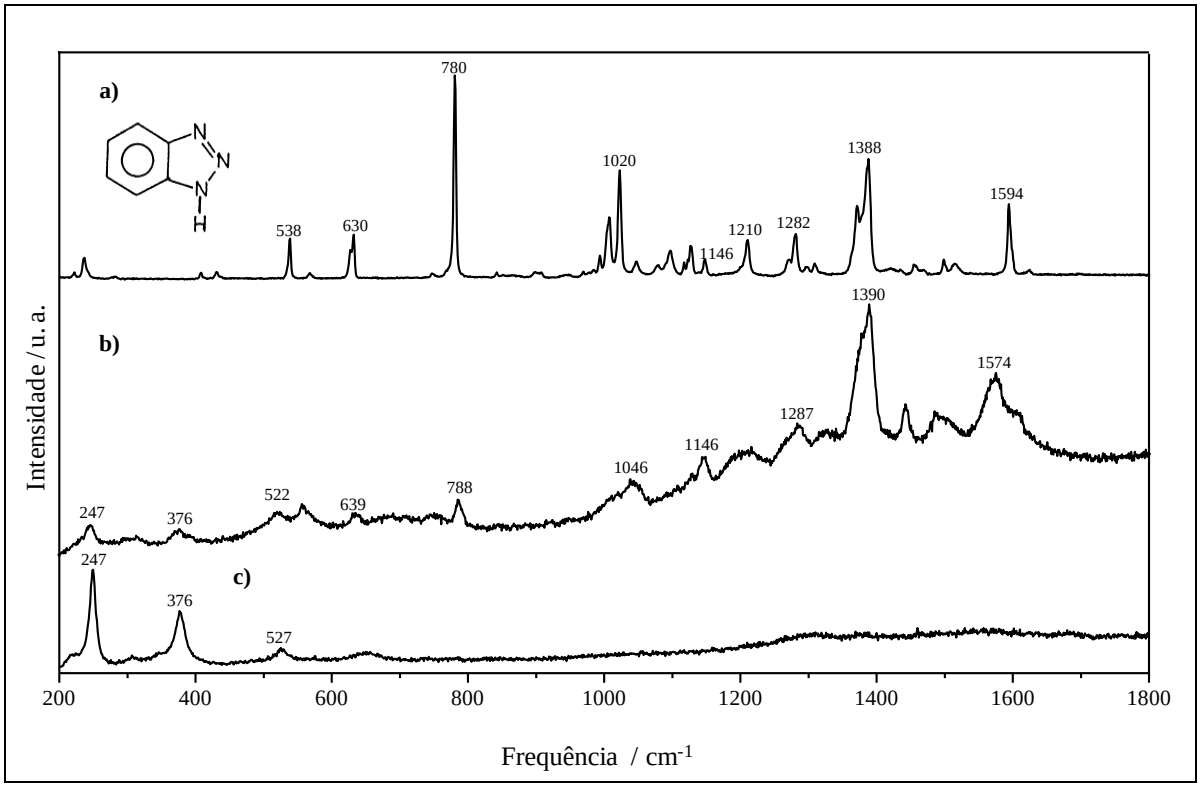

Figura 5: Espectros Raman ***Ex-Situ*** do **a)** BTAH sólido, da superfície do aço-carbono em pontos distintos **b)** e **c)** em meio de NaCl 0,01 mol.L^{-1} na presença de BTAH 0,01 mol.L^{-1} após 24 horas de imersão. Os espectros sobre a superfície foram adquiridos no (E_{corr}).

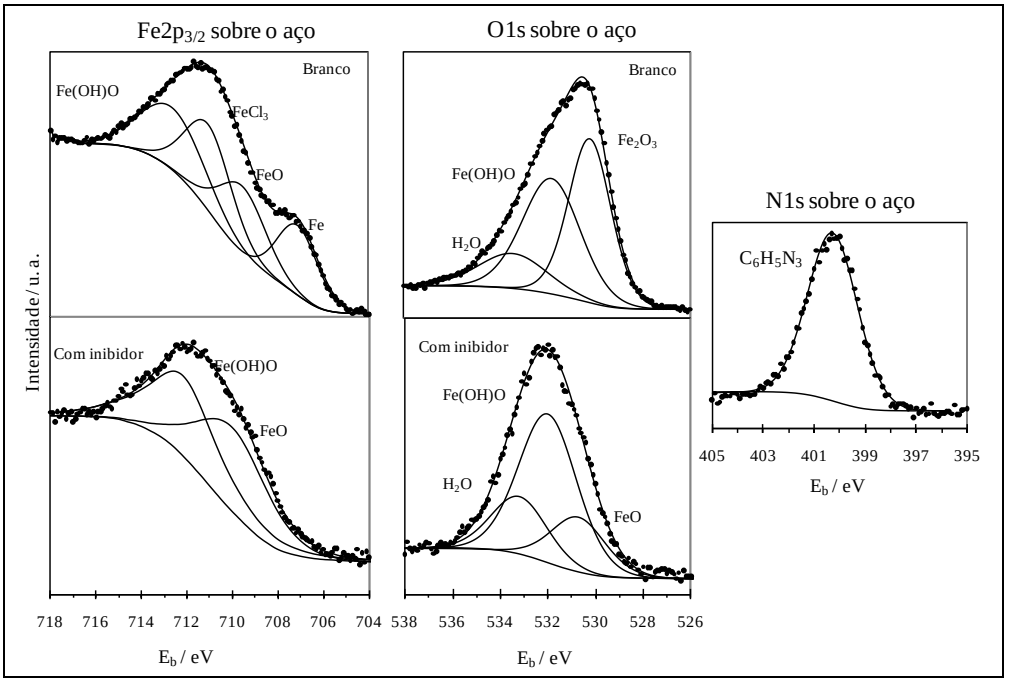

Figura 6: Espectros de Fe 2$p_{3/2}$, O1s e N1s na superfície do aço-carbono após 1 hora de imersão em NaCl 0,01 mol.L^{-1} na ausência (em cima) e presença (em baixo) de BTAH 0,1 mol.L^{-1}.

Tabela I: Valores médios de potencial de corrosão (E_{corr}), resistência de polarização (R_p) e eficiência inibidora (EI) do aço-carbono 1005 em meio de NaCl 0,1 mol.L^{-1} na ausência e presença de benzotriazol em várias concentrações após 24 horas de imersão.

Meio / mol.L^{-1}	E_{corr} vs ECS / V	R_p / Ω.cm^2	EI / %
Branco	-0,638±33	799±51	----
10^{-3}	-0,570±8	511±10	Negativo
10^{-2}	-0,490±2	7182±973	89±3

Tabela II: Valores de freqüências adquiridos da espectroscopia Raman para o benzotriazol sólido e do benzotriazol 0,01 mol.L^{-1} sobre a superfície do aço-carbono em meio de NaCl 0,01 mol.L^{-1} no potencial de corrosão (E_{corr}) após 24 horas de imersão.

Atribuição	Sólido	Superfície do aço	Complexo [28] $[Fe(II)BTA_2]_n$	Complexo [29] $[Fe_n(BTA)_m]$
Torção do anel Tz	538^{m}	560^{mf}	557^{m}	561
Torção do anel Tz	630^{m}	639^{mf}	632^{f}	640
Respiração do anel Bz	780^{MF}	788^{f}	790^{F}	789
Respiração do anel Bz no plano	1020^{f}	1046^{mf}	1032^{F}	1049
Torção N-H no plano	1147^{mf}	-----	-----	1150
Respiração do anel Tz	1210^{m}	1203^{mf}	1192^{F}	1201
Deformação C-H no plano	1282^{m}	1287^{f}	1289^{m}	1286
Estiramento do anel Tz	1388^{F}	1390^{MF}	1390^{MF}	1387
Estiramento do anel Bz	1594^{m}	1574^{F}	1574^{m}	1579

Abreviações: Bz: benzênico, Tz: triazólico, f:fraca, mf:muito fraca, m:media, F:forte, MF:muito forte.

Tabela III: Energia de ligação obtida da deconvolução do espectro de XPS sobre o aço-carbono após 1 hora de imersão em NaCl 0,01 mol.L^{-1} na presença de 0,1 mol.L^{-1} de benzotriazol.

Aço sem BTAH		
Fe2p$_{3/2}$	**E$_L$/eV**	**% massa**
$FeCl_3$	711,31	8,74
Fe	707,00	3,57
FeO	710,01	5,84
Fe(OH)O	713,69	1,53
O1s	**E$_L$/eV**	**% massa**
Fe_2O_3	530,20	34,85
Fe(OH)O	531,80	33,58
H_2O	533,42	11,89
Aço com BTAH		
Fe2p$_{3/2}$	**E$_L$/eV**	**% massa**
Fe(OH)O	712,12	5,92
FeO	709,95	5,59
O1s	**E$_L$/eV**	**% massa**
Fe(OH)O	532,01	32,24
FeO	530,73	11,19
H_2O	533,22	12,04
N1s	**E$_L$/eV**	**% massa**
$C_6H_5N_3$	400,26	33,02

Table IV: Composição elementar sobre o aço-carbono após 1 hora de imersão em NaCl 0,01 mol.L^{-1} na presença de 0,1 mol.L^{-1} de benzotriazol.

Element	**Atomic %**	
	Sem inibidor	**Com inibidor**
Fe	19.68	11,51
O	80.32	55.47
N	----	33.02

Referências bibliográficas

[1] F. Bentiss, M. Lagrenee, M. Trainsel, J. C. Hornez, Corrosion Science, 41 (1999) 789-803.

[2] Hui-Long Wang, Rui-Bin Liu, Jian Xin, Corrosion Science, 46 (2004) 2455-2466.

[3] R. Solmaz, G. Kardaz, B. Yazici and M. Erbil, Colloids and Surfaces A: hysicochemical and Engineering Aspects, 312 (2007) 7-17.

[4] A. Lgamri, H. Abou El Makarim, A. Guenbour, A. Ben Bachir, L. Aries, S. El Hajjaji, Progress in Organic Coatings, 48 (2003) 63-70.

[5]R. Tianhui, X. Qunji, W. Hanqing, Wear. 172 (1) (1994) 59-64.

[6] M. A. Quraishi and R. Sardar, Jounal of applied Electrochemistry, 33 (2003) 1163-1168.

[7] M. Athar, H. Ali and M. A. Quraishi. British Corrosion Journal, 37 (2002) 155-158.

[8] Everson P. Bancsek, Marilei F. Oliveira, Maico T. Cunha, Paulo R. P. Rodrigues. Portugaliae Electrochemica Acta 23 (2005) 379-391.

[9]J. Zhang, Q. Zhang, H. Ren, W. Zhao, H. Zhang, Applied Surface Science. 253 (18) (2007) 7416-7422.

[10]A. Popova, M. Christov, A. Vasilev, Corrosion Science. 49 (2007) 3290-3302.

[11]M. Abdallah, M. M. El-Naggar, Materials Chemistry and Physics 71 (2001) 291-298.

[12]M. Abdallah, A. Y. El-Etre, M. G Soliman and E. M. Mabrouk. Anti-Corrosion Methods and Materials, 53/2 (2006) 118-123.

[13]You Jia, Per Agaard, Gijs D. Breedveld. Chemosfere 67 (2007) 250-258.

[14] Sylvia Lucia Feitosa Affonso da Costa. Ação do Inibidor Benzotriazol (BTAH) na corrosão do cobre por íons Fe(III) em meios de H_2SO_4 0,5 mol.L^{-1} e HCl 0,1 mol.L^{-1}. Dissertação de mestrado, Instituto de Química da Universidade de São Paulo, 1987.

[15] S.L.F.A. da Costa, S. M. L. Agostinho, H. C. Chagas and J. C. Rubim, Corrosion 43 (1987) 149-152.

[16] S.L.F.A. da Costa, S. M. L. Agostinho and J. C. Rubim. J. Electroanal. Chem. 295, 203-214, 1990.

[17] S.L.F.A. da Costa, J. C. Rubim, S. M. L. Agostinho, J. Electroanal. Chem. 220 (1987) 259-268.

[18] Tabeja Kosec; Darja Kek Merl; Ingrid Milošev. Corrosion Science. 50, 1987-1997, 2008.

[19]M. M. Antonijevic, S. M. Milic, S. M. Serbula. G. D. Bogdanovic, Electrochimica Acta 50 (2005) 3693-3701.

[20] P. R. P. Rodrigues, J. O. Zerbino, S. M. L. Agostinho, Mat. Sci. Forum, 292, 1299-1310, 1998.

[21] A.K. Satpati; P.V. Ravindran, Mat. Chem. Phys. 109 (2008) 352-359.

[22] Isis Valença de Sousa Santos. Filmes de benzotriazol sobre materiais ferrosos: formação, eficiência, resistência, efeito de aditivos e do transporte de massa. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, 2003.

[23] Douglas K. da Silva, Gisele C. B. Ribas, Maico T. da Cunha, Silvia M. L. Agostinho, Paulo R. P. Rodrigues, Portugaliae Electrochimica Acta, 24 (2006) 323-335.

[24] Juliana V. Custódio, Isis V. de S. Santos, Silvia M. L. Agostinho. INTERCORR 2008_010.

[25] K. Babic-Samardzija, N. Hackerman, J. Sol. State Electrochem. 9, 483-497, 2005.

[26] L. Hamadou; A Kadri; N. Benbrahim. Applied Surface Science 252 (2005) 1510-1519.

[27] R. Youda, H. Nishihara, K. Aramaki, Corros. Sci. 28 (1988) 87.

[28] P. G. Cao, J. L. Yao, J. W. Zheng, R. A. Gu, Z. Q. Tian. Langmuir. 18, 100-104, 2002.

[29] J. L. Yao; B. Ren; Z. F. Huang; P. G. Cao; R. A. Gu; Zhong-Qun Tian. Electrochimica Acta. 48, 1263-1271, 2003.

[30] J. Rubim, I.G.R. Gutz, O. Sala, W.J. Orville-Thomas, J. Mol.Struct. 100 (1983) 571.

[31] Tabeja Kosec; Ingrid Milošev; Boris Pihlar. Applied Surface Science 253 (2007) 8863-8873.