

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

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

Estudo dos efeitos do tipo de composto de enxofre e da temperatura de processamento na corrosão do aço inoxidável AISI 304L em sistema simulado de retortagem de folhelhos pirobetuminosos.

Marcio F. Oliveira^a, Lilian F. de Senna^b, Dalva C. B. do Lago^c

Abstract

Stainless steels are widely used in systems for processing and achievement of shale derivatives, despite the corrosion problems caused by the sulfur compounds present in the original material, and by the processing temperature. The present work studied the influence of the processing temperature and the kind of sulfur compound, on the corrosion of AISI 304L stainless steel by using simulated shale processing. This way, the steel specimens were submitted to a simulated processing in media, containing or not, contaminants based on sulfur. The characterization of the processed specimens was carried out by using potentiodynamic polarization tests and surface analysis techniques. The results showed that the temperature influenced directly on the chemical corrosion of the steel, causing changes in the outer oxide layer and the formation of low thickness metal sulfides on the surface of stainless steel. This process is aggravated by the presence of sulfur contaminants of inorganic and organic origins; the most aggressive was the organic sulfur. At the conditions of this study, the electrochemical corrosion could be neglected.

Keywords: shale, retortage, corrosion, sulfur, steel AISI 304L.

Resumo

Aços inoxidáveis são amplamente utilizados em sistemas para processamento e obtenção de derivados de folhelhos pirobetuminosos (xisto), apesar dos problemas de corrosão causados pelos compostos de enxofre presentes no material original e a temperatura do processo de retortagem. O presente trabalho estudou a influência da temperatura de processamento e do tipo de composto enxofre, na corrosão do aço inoxidável AISI 304L em meio simulado de retortagem de folhelhos pirobetuminosos. Deste modo, os corpos de prova de aço foram submetidos a um processo de retortagem simulado em meios contendo ou não contaminantes a base de enxofre. A caracterização dos corpos de prova processados foi realizada empregando ensaios de polarização potenciodinâmica e técnicas de análise de superfície. Os resultados mostraram que a temperatura influenciou diretamente no processo de corrosão química deste aço, causando modificações na camada externa de óxidos e formação de camada de baixa espessura de sulfetos metálicos sobre a superfície do aço inoxidável. Este processo é agravado com a presença dos contaminantes de enxofre, de origens inorgânica e orgânica; o enxofre orgânico foi o mais agressivo. Nas condições deste estudo, a corrosão eletroquímica pode ser negligenciada.

^a Professor, M.Sc., IFRJ – Campus Rio de Janeiro

^b Professor, D.Sc., Departamento de Química Analítica, DQA – UERJ

^c Professor, D.Sc., Departamento de Química Analítica, DQA – UERJ

Palavras-chave: Folhelho pirobetuminoso, retortagem, corrosão, enxofre, aço AISI 304L.

Introdução

O folhelho pirobetuminoso é de um material geológico pouco poroso, cuja composição varia de acordo com sua formação. Em geral, apresenta teores elevados de enxofre, tanto na forma inorgânica (sulfetos de ferro), como na forma orgânica (mercaptanas e organo-sulfurados), variando a presença de teores de matéria orgânica em função da profundidade e do tipo de geologia do terreno. No Brasil, o folhelho é explorado como fonte alternativa ao petróleo, sendo o país o segundo maior detentor de reservas deste tipo de material (1, 2).

Assim como ocorre em outros processos de refino e extração de derivados de petróleo, utilizam-se aços inoxidáveis para construção de equipamentos e tubulações empregados no processamento dos folhelhos. Tais aços estão expostos, aos constituintes dos folhelhos e podem sofrer ataques corrosivos por ação destes compostos, principalmente dos derivados de enxofre. Em função disso, diversas avaliações são efetuadas regularmente nos sistemas de retortagem de folhelhos, visando verificar as condições do material após o processamento do minério. É necessário também quantificar e prever os danos sofridos pelo material após o processo corrosivo, o que só é verificado qualitativamente *in situ* no reator de processamento durante os processos normais de parada de manutenção (3-5).

Os ataques do meio corrosivo ao aço inoxidável se processam em meio oleaginoso e à temperatura elevada. Como o meio é não aquoso, os processos de corrosão eletroquímica, bem como as avaliações dos mesmos, tornam-se mais difíceis, pois a mobilidade iônica diminui, fazendo com que os fenômenos de superfície relativos à transferência de elétrons não sejam tão facilmente observados como em meio aquoso. Por outro lado, o aumento da temperatura promove a corrosão química no meio em questão, danificando a superfície do material formador do reator. Esta superfície danificada, associada a uma degradação do material orgânico, com aumento da condutividade do meio, poderia ser o ponto de partida para um processo de corrosão eletroquímica (6-10).

No presente trabalho, corpos de prova de aço inoxidável AISI 304L foram submetidos à temperaturas elevadas, em meio simulado de retortagem de xisto, constituído por óleo mineral contendo (ou não) diferentes formas de enxofre (inorgânica e orgânica). A avaliação do processo corrosivo foi realizada através de técnicas eletroquímicas e de análise de superfície. Espera-se, dessa forma, contribuir para um melhor entendimento da influência destes parâmetros no processo de corrosão do aço inoxidável AISI 304L em processo de produção de óleo de xisto.

Metodologia

Meio Reacional

Os meios de trabalho foram preparados a partir de óleo mineral, BRIGHT STOCK 150 (PBS 33) – REDUC, cujas características são descritas na Tabela 1. A este óleo base, foram ainda adicionados sulfeto de ferro (99,9 % m/m - Sigma-Aldrich) e/ou 2-mercaptopiridina (99%

m/m - Sigma-Aldrich), formando os meios reacionais mostrados na Tabela 2. Ainda nesta tabela, são apresentadas as condições de temperatura utilizadas para os ensaios de corrosão.

Tabela 1: Características do óleo mineral grupo II - BRIGHT STOCK 150 (PBS 33) – REDUC

Característica	Método	Especificação	Resultado	Unidade
Índice de acidez	ASTM D 974	0,05 máx.	0,01	mg KOH/g
Ponto de Fulgor	ASTM D 92	280 mín.	308	grau C
Enxofre	Não controlado, Normalização ANP de faixa operacional de máx. 0,03% em massa.			

Tabela 2: Tabela de Meios Reacionais e Condições de Temperatura

Meio Reacional	Óleo mineral % (m/m)	Sulfeto de Ferro % (m/m)	Mercaptan % (m/m)	Temperatura °C
OM 235	100	0	0	235
OM 235 FeS	92	8	0	235
OM 235 McS	96	0	4	235
OM 235 McS+FeS	88	8	4	235
OM 325	100	0	0	325
OM 325 FeS	92	8	0	325
OM 325 McS	96	0	4	325
OM 325 McS+ FeS	88	8	4	410
OM 410	100	0	0	410
OM 410 FeS	92	8	0	410
OM 410 McS	96	0	4	410
OM 410 McS+ FeS	88	8	4	410

Preparação dos corpos de prova e processamento do meio simulado

Corpos de prova de aço inoxidável AISI 304L, ACESITA, laminado a quente, de dimensões de 20 mm X 10 mm X 3 mm, foram utilizados para os ensaios de corrosão nos meios descritos na Tabela 2. Exceto por uma limpeza superficial com acetona em ultra-som, os aços foram ensaiados sem tratamento superficial prévio, com o objetivo de simular as mesmas condições originais do material no processo de retortagem.

Para cada meio simulado reacional (Tabela 2) foram utilizados quatro corpos de prova. Foram inseridos 100 mg de meio simulado em balão de 250 mL, onde os corpos de prova foram imersos. O sistema foi aquecido sob refluxo, por um tempo de reação de 6 h. Após este período, os corpos de prova foram submetidos à lavagem com xileno em banho de ultra-som e com acetona utilizando o mesmo método. A limpeza foi feita por um período de 20 min em cada solvente, sendo posteriormente secos e preparados para utilização nos demais testes de caracterização. Dois corpos de prova foram usados para as análises de superfície (microscopia eletrônica de varredura, espectrometria de energia dispersiva de raios-X e difratometria de raios-X) e dois para os ensaios eletroquímicos (polarização).

Caracterização superficial dos corpos de prova após ensaio de retortagem simulada

Para a caracterização morfológica dos corpos de prova de aço, as amostras foram fixadas em suporte condutor e inseridas para análise em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) ZEISS EVO MA-10, pertencente ao laboratório de estratigrafia da Faculdade de Geologia (FGEL/UERJ). Um sistema de espectrometria de energia dispersiva de raios-X, EDS (EDS IFRX), acoplado ao microscópio, foi utilizado para as determinações semi-quantitativas de regiões selecionadas da amostra. Foram feitas imagens dos corpos de prova logo após o

processamento no meio simulado, e após passarem por processo de decapagem, para avaliação dos danos ao substrato. A fim de caracterizar as superfícies dos corpos de prova após os ensaios de retortagem simulada, foram realizadas análises de difração de raios X (DRX) em um difratômetro – RIGAKU MINIFLEX II. A varredura foi feita com valores de 2θ variando entre 35° a 120° , com velocidade de $0,1^\circ/\text{s}$ e fonte de Cu ($\lambda=1.54056\text{ nm}$).

Caracterização eletroquímica dos corpos de prova após ensaio de retortagem simulada

Para os ensaios eletroquímicos, eletrodos foram preparados a partir dos corpos de prova de aço previamente submetidos aos ensaios de retortagem simulada, os quais foram embutidos de modo a fornecer uma área exposta de 1cm^2 . Utilizando tais eletrodos, ensaios de polarização potenciodinâmica foram realizados, em meio consistindo de uma mistura de solventes orgânicos (xileno – 50 %, v/v + álcool isopropílico – 49,5 %, v/v + água – 0,5 %, v/v). Utilizou-se eletrodo de platina como contra eletrodo e um eletrodo de junção dupla (Ag/AgCl) como referência. As curvas de polarização foram levantadas em duplicata, empregando-se um potenciostato/galvanostato AUTOLAB modelo PGSTAT-302N, na faixa de -2V à 2V , com velocidade de varredura de $0,5\text{ mV/s}$. A partir destas curvas, a densidade de corrente de corrosão pode ser determinada pela extrapolação das retas de Tafel, e a taxa de corrosão média pode ser calculada, em cada condição.

Resultados e discussão

Na Figura 1 são apresentadas as morfologias superficiais dos corpos de prova de aço inoxidável AISI 304L, após os ensaios a temperatura elevada, nos meios da Tabela 2. Verifica-se que cada coluna mostra, de cima para baixo, a variação dos tipos de contaminantes (respectivamente, óleo mineral, óleo mineral + sulfeto de ferro, óleo mineral + 2-mercaptopiridina e óleo mineral + sulfeto de ferro + 2-mercaptopiridina), enquanto que as linhas mostram, da esquerda para direita, as temperatura de trabalho (respectivamente 235°C , 325°C e 410°C). Os estudos de Fofano, Souza e Susin (6) mostraram que o processo de corrosão do aço inoxidável em meio de óleo de xisto é regido pela temperatura e pelo enxofre presente no meio. Por outro lado, Yepez (11) mostrou que o tipo de composto de enxofre presente no petróleo contribuía de modo diferenciado para a corrosão do aço inoxidável. Os resultados aqui apresentados serão baseados nestes dois estudos.

Verifica-se que os experimentos realizados em temperatura mais elevada apresentaram maior formação de produtos de corrosão, independente do meio. Isso indica que o ataque à superfície sofre influência direta da temperatura de processamento. Adicionalmente, quando são analisados os efeitos dos meios reacionais, verifica-se que o tipo de enxofre tem maior influência que a quantidade do contaminante no meio. Burnham e Taylor (4) mostraram que a presença de enxofre de origem inorgânica é fator gerador de H_2S , propiciando a corrosão. No presente trabalho, comparando as colunas apresentadas na Figura 1, verifica-se que as condições onde o enxofre de origem orgânica é encontrado apresentaram maior ação corrosiva sobre a superfície do aço inoxidável, apesar da concentração de sulfeto de ferro (enxofre de origem inorgânica) ser maior que a de mercaptana (enxofre de origem orgânica). Esse efeito é mais facilmente visualizado com o aumento da temperatura, conforme pode também ser observado comparando-se as linhas da Figura 1. Analisando, portanto, as imagens obtidas é possível supor que a ação do enxofre orgânico na superfície é mais danosa, e pode ser mais acentuada quando ocorre a presença de enxofre inorgânico. Yepez (11) verificou

resultados semelhantes em petróleo cru e propôs que o processo de corrosão neste caso seria iniciado pelo ataque inicial ou preferencial deste enxofre de origem orgânico, depois do qual a ação do enxofre inorgânico ficaria facilitada.

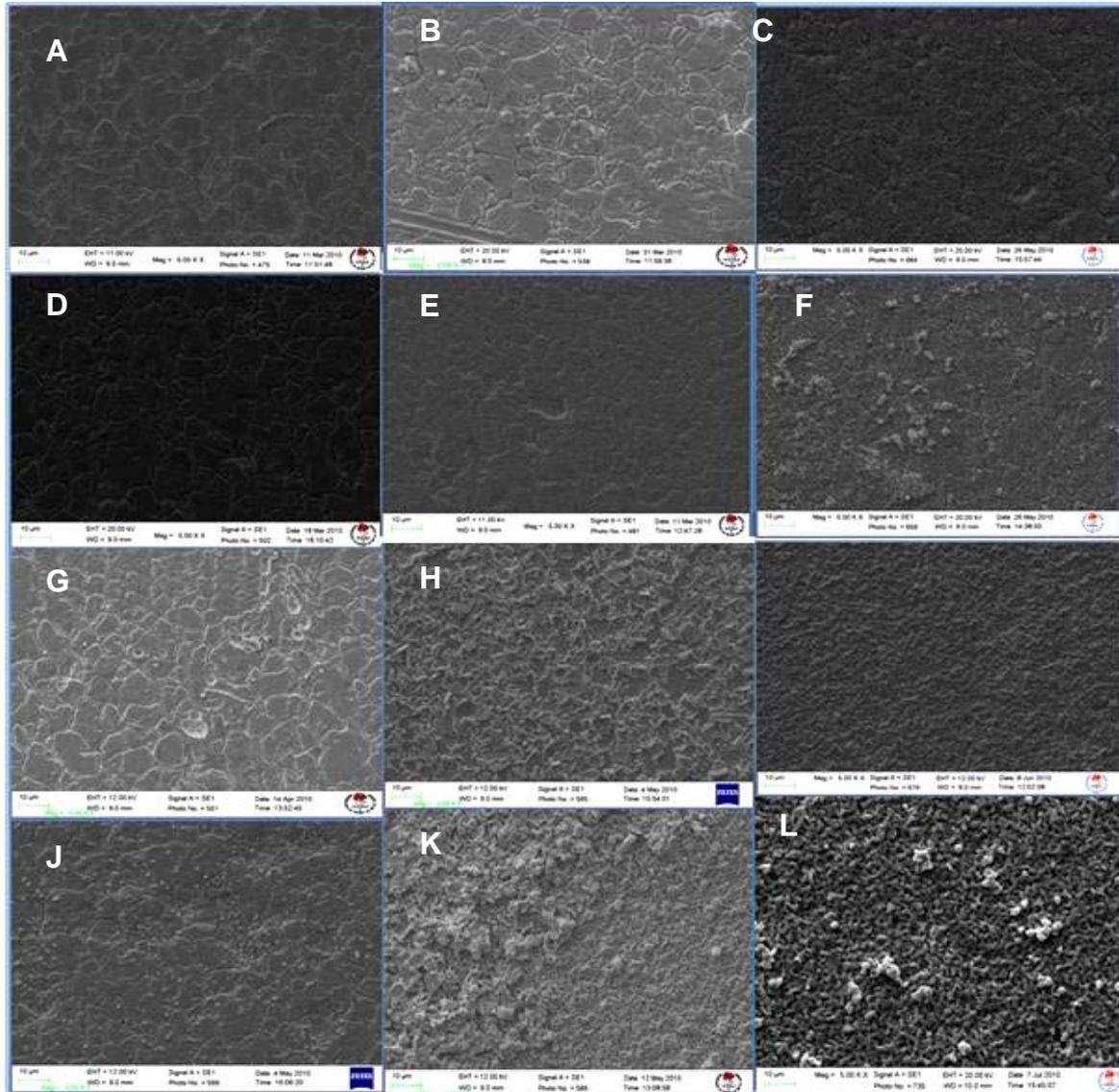


Figura 1: Microscopia Eletrônica de Varredura dos corpos de prova de aço, após exposição nos meios e condições descritos na Tabela 2. (A) OM 235; (B) OM 325; (C) OM 410; (D) OM 235 FeS; (E) OM 325 FeS; (F) OM 410 FeS; (G) OM 235 McS; (H) OM 325 McS e (I) OM 410 McS; (J) OM 235 McS+FeS; (K) OM 325 McS+FeS; (L) OM 410 McS+FeS. Ampliação: 5000X.

Na Figura 2 são apresentadas as imagens de MEV referente aos corpos de prova submetidos aos meios reacionais (Tabela 2), e que passaram por processo de decapagem a fim de avaliar a condição do substrato destes corpos de prova. A fim de comparação, foi utilizado o mesmo posicionamento dos corpos de prova como descritos na Figura 2. Avaliando os resultados das Figuras 1 e 2, confirma-se que a temperatura é fator importante no processo de corrosão do aço inoxidável no meio simulado estudado, independente do tipo de contaminante presente neste meio. As superfícies dos corpos de prova de aço após a decapagem apresentam-se mais

danificadas em temperaturas maiores, corroborando com o fato de que a área de injeção de gases (reciclo quente) na retortagem de folhelhos pirobetuminosos é a zona mais crítica quanto aos problemas de corrosão. Adicionalmente, a presença dos contaminantes de enxofre, principalmente aqueles de origem orgânica causaram maiores ataques na superfície do aço, gerando pites em maior quantidade, conforme aumenta a temperatura de processamento.

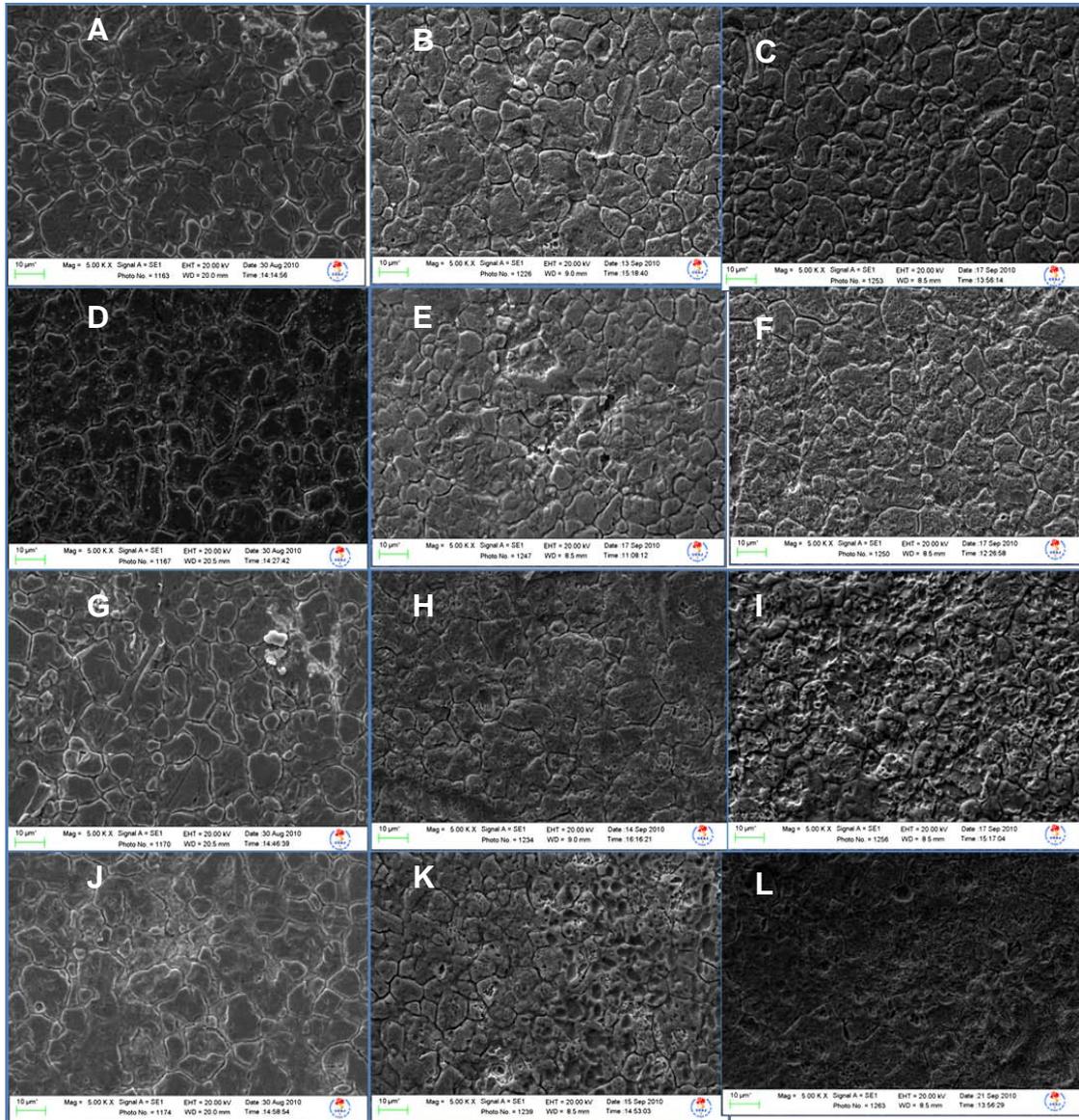


Figura 2: Microscopia Eletrônica de Varredura Amostras após ensaios e decapagem – 5000X. A – OM 235. B – OM 325. C – OM 410. D – OM 235 FeS. E – OM 325 FeS. F – OM 410. G – OM 235 McS. H – OM 325 McS. I – OM 410 McS. J – OM 235 McS+FeS. OM 325 McS+FeS. L – OM 410 McS+FeS.

As Figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, o mapeamento de elementos significativos de liga (ferro, cromo e níquel), além do enxofre, obtidos pelos ensaios de EDS nas condições reacionais do meio contendo apenas óleo mineral e nas condições reacionais do meio contendo óleo mineral + sulfeto de ferro + 2-mercaptopiridina. Pode ser observado que o aumento da temperatura intensifica a formação de produtos de corrosão contendo enxofre sobre a superfície dos corpos de prova, corroborando o que foi visto na Figura 1. Ressalta-se que para a condição apresentando apenas o óleo mineral, o qual apresenta baixos teores de

enxofre de fonte orgânica (< 300 mg/L), produtos de corrosão visíveis ao MEV foram verificados apenas na temperatura de 410 °C (Figura 1). Por outro lado, mesmo em 235 °C, certa quantidade de enxofre já pode ser detectada na Figura 3. Isso mostra que mesmo em pequenas quantidades, a ação do enxofre de origem orgânica é facilmente evidenciada. Ainda assim, é visivelmente superior a quantidade de enxofre presente na superfície atacada pelo meio contendo óleo mineral + sulfeto de ferro + 2-mercaptopiridina.

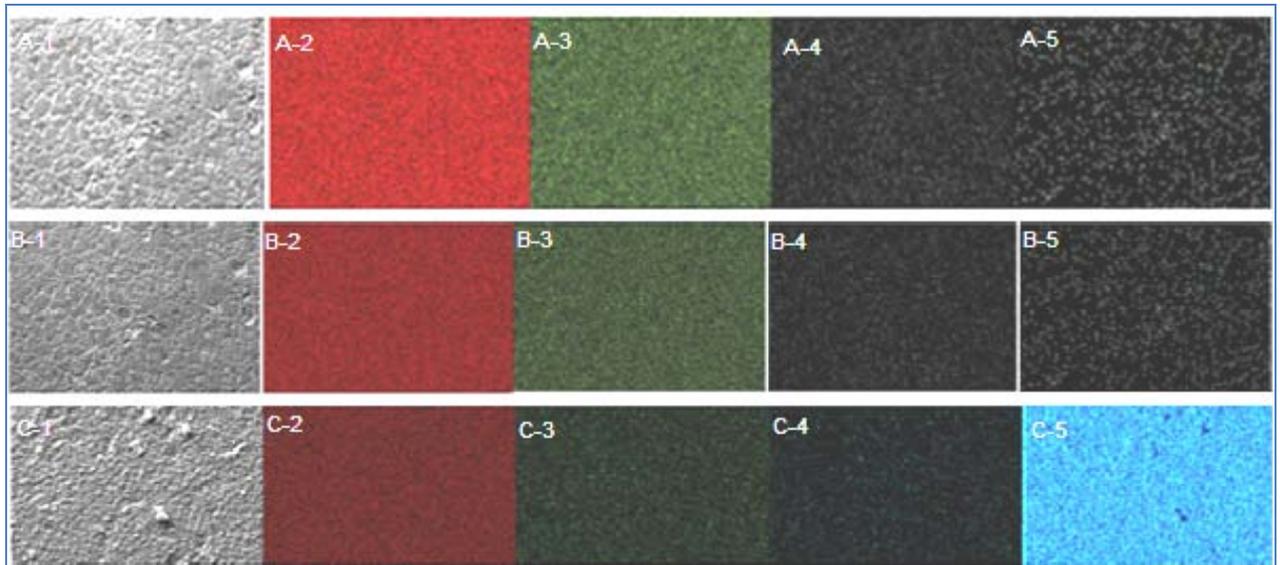


Figura 3: Mapeamento dos elementos principais dos corpos de prova de aço inoxidável AISI 304L, ensaiados em meio reacional de óleo parafínico PBS-33. (A) OM 235. (B) OM 325. (C) OM 410. 1 – Imagem corpo de prova. 2 – Ferro. 3 – Cromo. 4 – Níquel. 5 – Enxofre. (Aumento de 2500X).

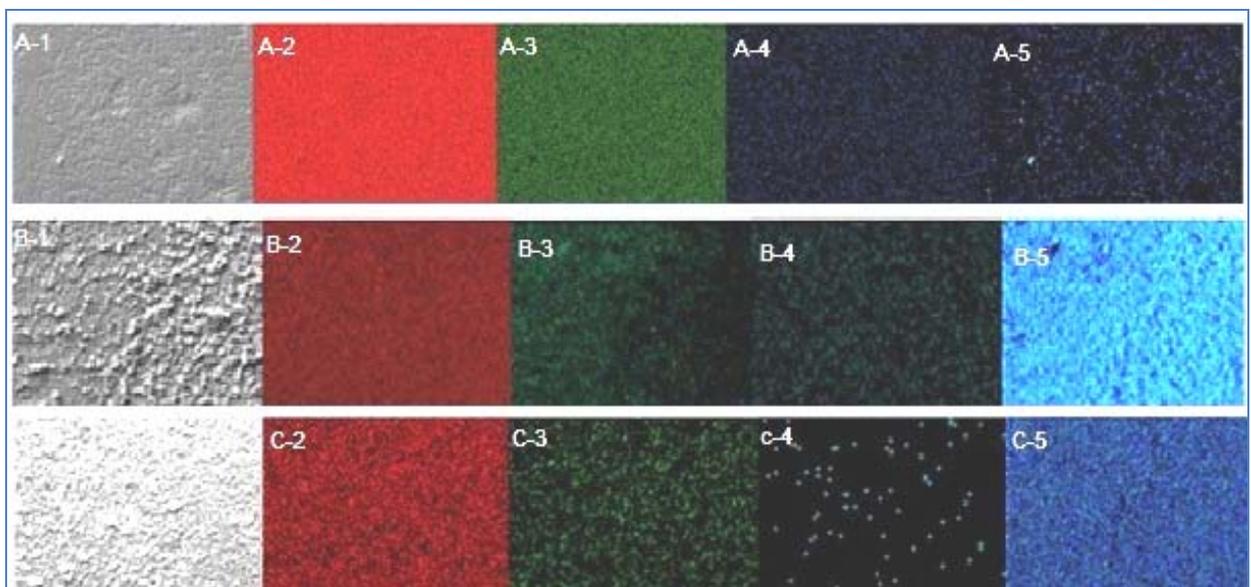


Figura 4: Mapeamento de elementos por EDS, corpos de prova de aço inoxidável AISI 304L em meio reacional de óleo mineral parafínico PBS-33 contendo 2-mercaptopiridina e sulfeto de ferro. A – OM 235 McS+FeS. B – OM 325 McS+FeS. C – OM 410 McS+FeS. 1 – Imagem corpo de prova. 2 – Ferro. 3 – Cromo. 4 – Níquel. 5 – Enxofre. (Aumento de 2500X).

Após os ensaios de corrosão nos meios relacionados na Tabela 2, os corpos de prova de aço inoxidável foram submetidos à análise de difração de raios-X. As Figuras 5 mostra o aço

inoxidável AISI 304L sem sofrer ensaio e as Figura 6 e 7 são referentes aos ensaios realizados nos corpos de prova submetidos ao óleo PBS-33 e ao óleo PBS-33 contaminado com sulfeto de ferro e 2-mercaptopyridina, respectivamente, nas temperaturas de ensaio.

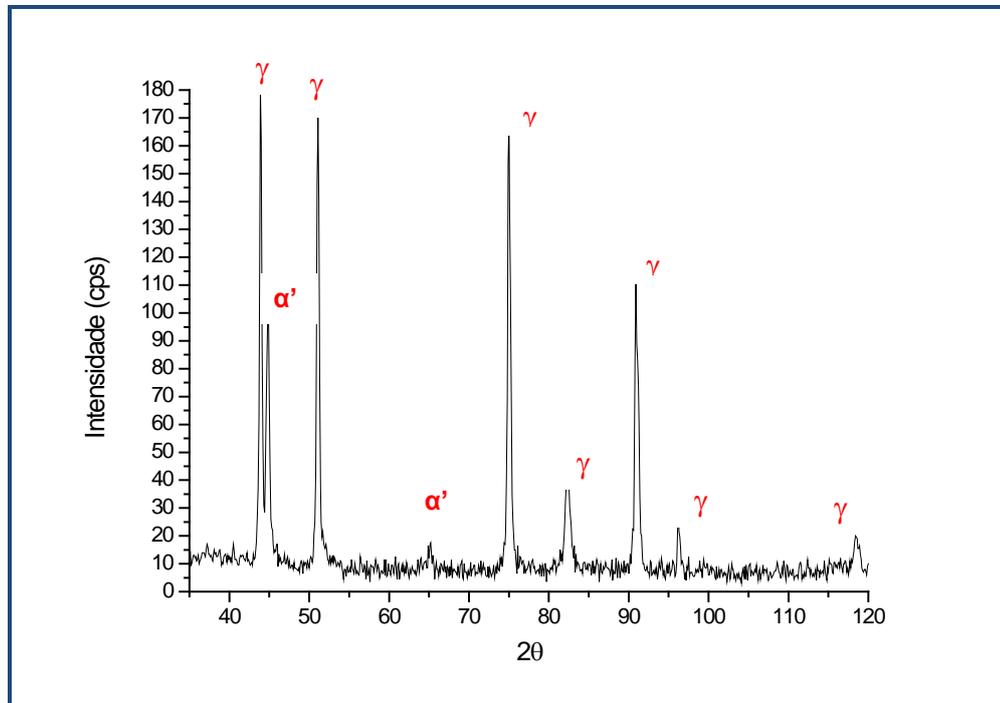


Figura 5: Difratoograma de raios-X do aço AISI 304L, conforme recebido.

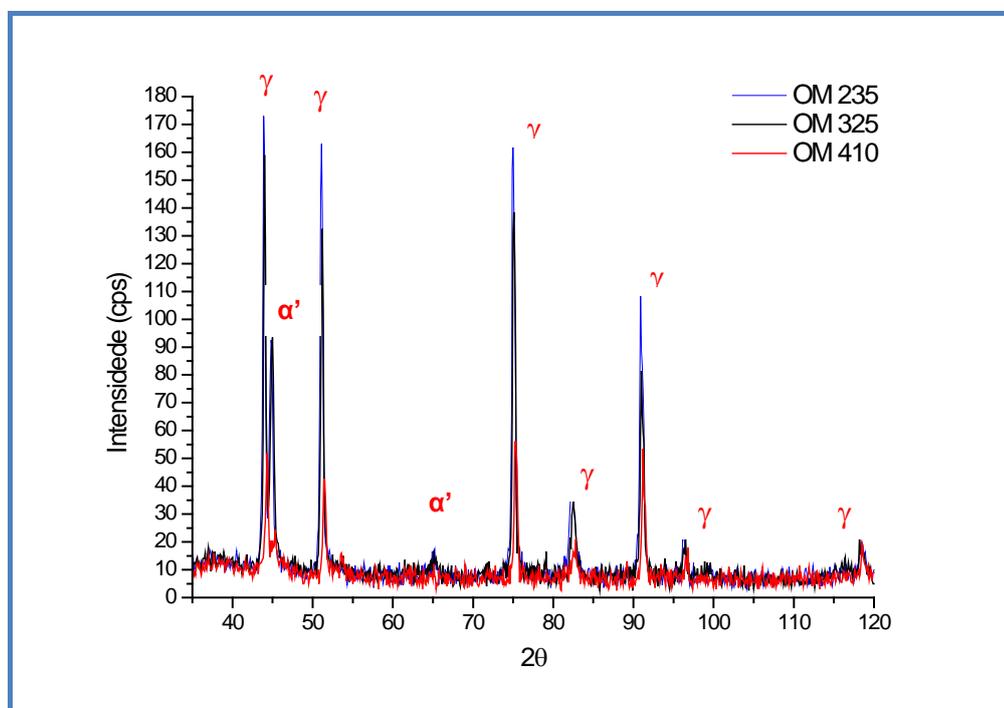


Figura 6: Difratoograma de raios-X das superfícies dos corpos de prova de aço inoxidável AISI 304L em meio reacional de óleo mineral parafínico PBS-33, nas temperaturas estudadas de 235 °C, 325 °C e 410°C.

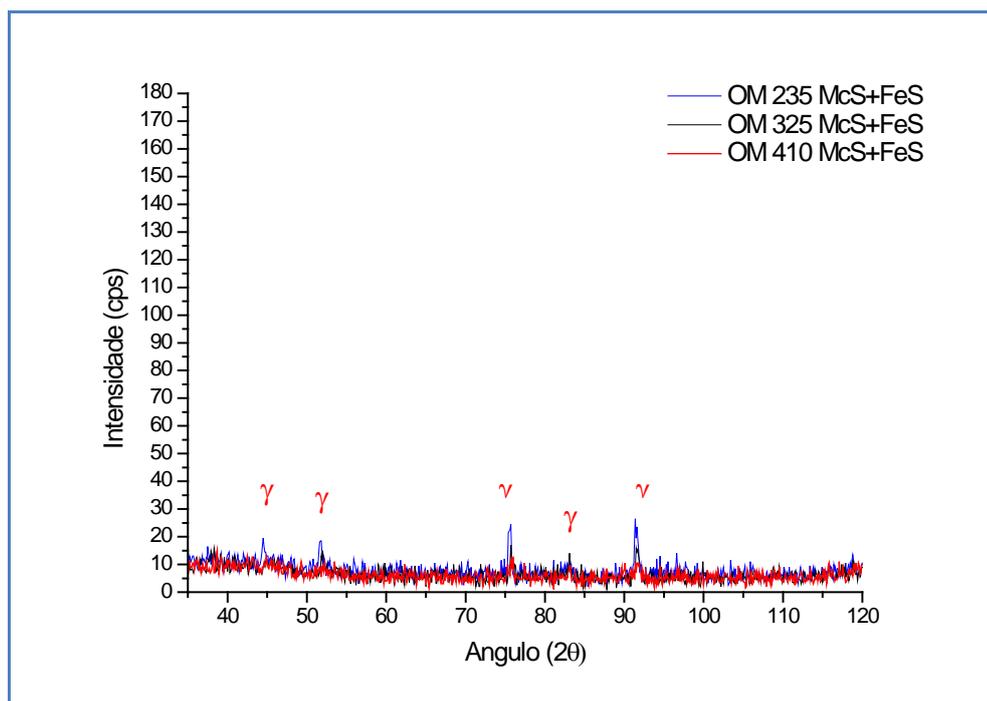


Figura 7: Difratograma de RX. Análise comparativa de corpos de prova em meio reacional de óleo mineral parafínico PBS-33 contendo contaminação de 2-mercaptopiridina e sulfeto de ferro, nas temperaturas estudadas de 235 °C, 325 °C e 410 °C.

Pode-se ver que com o aumento de temperatura e conseqüente aumento de formação de produtos de corrosão sobre o corpo de prova, as linhas de difração características do aço inoxidável AISI 304L têm sua intensidade diminuída. Estes resultados corroboram o que foi verificado na Figura 1 para os corpos de prova expostos ao meio contendo apenas óleo PBS-33, onde uma quantidade significativa de produtos de corrosão só pode ser verificada em 410 °C. Tem-se, dessa forma, a manutenção das linhas de difração características do aço nestas condições embora possa ser observada a diminuição das intensidades com o aumento da temperatura de processamento. Comportamento similar ocorre na condição de contaminação de sulfeto de ferro e mecaptana (Figura 6), porém de modo mais agressivo, conforme foi verificado também na Figura 1. Nesta condição existe uma maior formação de produtos de corrosão contendo enxofre na superfície dos corpos de prova (Figura 4) que se reflete na forte diminuição das intensidades das linhas de difração características do aço inoxidável AISI 304L, inclusive com eliminação de algumas destas.

Após a degradação das camadas pela ação dos meios e das temperaturas de processamento apresentados na Tabela 2, os corpos de prova foram submetidos a ensaios eletroquímicos nos próprios meios utilizados anteriormente. Como a oxidação do óleo de xisto ocorre, geralmente, acima de 300 °C (4), o objetivo foi verificar se os danos causados na superfície dos corpos de prova, associados à oxidação do óleo mineral base utilizados, poderiam gerar algum tipo de corrosão eletroquímica mensurável. Contudo, em função da baixa condutividade dos meios utilizados, mesmo depois de submetidos às condições anteriormente descritas, os ensaios eletroquímicos tiveram que ser realizados em meio orgânico composto por mistura de solventes (xileno – 50 %, v/v + álcool isopropílico – 49,5 %, v/v + água – 0,5 %, v/v). As densidades de corrente corrosão e as taxas de corrosão, obtidas pela extrapolação das retas de Tafel das curvas de polarização, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Tabela de $I_{\text{corrosão}}$ e taxa de corrosão, extraídos das curvas de polarização do aço inoxidável AISI 304L, por extrapolação de Tafel, após processamento nos meios e temperaturas sob estudo, em mistura de solventes.

Amostras	$I_{\text{corrosão}}$ (A/cm ²)	Taxa de Corrosão (mm/ano)
Aço AISI 304L	$1,95 \times 10^{-08}$	$4,33 \times 10^{-04}$
OM 235 (S)	$5,12 \times 10^{-08}$	$1,14 \times 10^{-03}$
OM 235 FeS (S)	$8,80 \times 10^{-08}$	$1,96 \times 10^{-03}$
OM 235 McS (S)	$3,65 \times 10^{-08}$	$8,12 \times 10^{-04}$
OM 235 McS FeS (S)	$1,33 \times 10^{-08}$	$3,67 \times 10^{-04}$
OM 325 (S)	$9,18 \times 10^{-08}$	$2,04 \times 10^{-03}$
OM 325 FeS (S)	$5,19 \times 10^{-08}$	$1,15 \times 10^{-03}$
OM 325 McS (S)	$2,56 \times 10^{-08}$	$5,69 \times 10^{-04}$
OM 325 McS FeS (S)	$3,02 \times 10^{-08}$	$6,70 \times 10^{-04}$
OM 410 (S)	$2,88 \times 10^{-08}$	$6,39 \times 10^{-04}$
OM 410 FeS (S)	$3,25 \times 10^{-08}$	$7,22 \times 10^{-04}$
OM 410 McS (S)	$1,83 \times 10^{-08}$	$4,07 \times 10^{-04}$
OM 410 McS FeS (S)	$1,08 \times 10^{-08}$	$2,39 \times 10^{-04}$

Embora os valores de densidade de corrente de corrosão sejam muito baixos (na ordem de 10^{-8} A/cm²), o que indica baixa atividade eletroquímica do sistema filme de sulfeto/substrato de aço, verifica-se que as amostras de aço cujos depósitos foram formados em condições de maior temperatura e/ou em presença de enxofre de origem orgânica, apresentaram tendência a terem menor taxa de corrosão, indicando que estes depósitos têm características mais protetoras, nas condições deste estudo.

Conclusões

Este trabalho estudou a corrosão do aço inoxidável no processamento de folhelhos pirobetuminosos através de um sistema simulado de retortagem. Foram verificadas as influências dos tipos de enxofre presentes nos folhelhos e a temperatura de processamento na corrosão do material da retorta, aço inoxidável AISI 304L, austenítico, sendo obtidas as seguintes conclusões:

- 1) Através dos ensaios eletroquímicos, percebeu-se que a influência da corrosão eletroquímica é baixa e não expressa os fenômenos que ocorrem na superfície do aço quando em presença de derivados do processamento dos folhelhos. A ação eletroquímica é dificultada devido à baixa condutividade do meio orgânico.
- 2) O processo de corrosão, basicamente ocorre por corrosão química conforme foi visto nas avaliações de MEV / EDS, onde filmes de sulfetos metálicos, principalmente de ferro, estão presentes sobre a superfície, a partir de um ataque severo à superfície do aço inoxidável AISI 304L, com presença de pites abaixo destes filmes.
- 3) A temperatura exerce uma ação importante no processo de corrosão. Verificou-se que para temperaturas maiores, independente do tipo de enxofre presente nas amostras preparadas, o

grau de ataque da superfície aumenta e que a quantidade de filmes de sulfeto é visualmente maior. A seguinte tendência de atividade corrosiva pode ser então, sugerida quanto à ação da temperatura: $235\text{ }^{\circ}\text{C} < 325\text{ }^{\circ}\text{C} < 410\text{ }^{\circ}\text{C}$

4) A sinergia da temperatura com o tipo de enxofre faz com que os compostos orgânicos de enxofre, mais reativos sobre o aço inoxidável AISI 304L, tenham uma ação mais intensa sobre a superfície do aço com o aumento da temperatura. Assim, tem-se que, em termos do tipo de enxofre, a seguinte ordem de atividade corrosiva pode ser observada: Sem S ($< 300\text{ mg/L}$) $<$ S Inorgânico $<$ S Orgânico $<$ S Inorgânico + S Orgânico

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPQ, ao Instituto Nacional de Óleo e Gás (INOG) e à FGEL/UERJ, pelo suporte financeiro e tecnológico.

Referências bibliográficas

- (1) RODRIGUES, René. **A Geoquímica Orgânica na Bacia do Parnaíba**. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 1995.
- (2) VICTER, Wagner. Rio de Janeiro: Jornal **O Globo**. Apresenta artigo O xisto é o petróleo do futuro. Disponível em: http://oglobo.globo.com/blogs/wagner/post.asp?cod_post=119551. Acesso em: 8 set. 2010.
- (3) BAYLOR, V. B.; KEISER, J. R.; ALLEN, M. D.; LAWRENCE, E. J.. **Stress Corrosion Studies in Solvent Refined Coal Liquefaction Pilot Plant – OKNL/TM-7513**. OAK RIDGE NATIONAL Laboratory – Department of Energy - Union Carbide Corporation – Tennessee – EUA. 1980.
- (4) BURNHAM, Alan K.; TAYLOR, Robert W.. **Occurrence and Reactions of Oil Shale Sulfur**. In: 15th. *Oil Shale Symposium*, 1982, Golden, Colorado, USA.
- (5) CABÓ, Héctor M. . **Aços Inoxidáveis – Aplicações e Especificações**, ACESITA, 2001.
- (6) FOFANO, Sócrates; SOUZA, Edson J.J.; SUSIN, Célio P.. **Análise Térmico-Estrutural de Sistema de Pirólise de Xisto do Processo Petrosix**. In: IEV2002 - Conferência Internacional sobre Evaluación de Integridad y Extensión de Vida de Equipos, 2002, Salvador, Bahia, Brasil.
- (7) GENTIL, V. **Corrosão**, 4^o edição. Rio de Janeiro, Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos Ltda, 2003.
- (8) LEWAND, Lance R.. **The Role of Corrosive Sulfur in Transformers and Transformer Oil**. Doble Engineering Company, USA, 2002.

(9) NASCIMENTO, Alex M.; SOBRAL-SANTIAGO, Ana V. C.; SANT'ANA, Hosiberto B.; MACHADO, João P. S. E.; SILVA, Cleiton C. **Comportamento corrosivo de aços inoxidáveis utilizados como revestimento em refinarias de petróleo.** Revista Tecnologia – Universidade de Fortaleza. v. 25, N. 1, p. 65-73. 2004.

(10) OLIVEIRA, Vanessa L.. **Avaliação do Desempenho do Aço Carbono frente à Corrosão e Erosão-Corrosão quando Submetidos ao H₂S.** Tese (Mestrado em Engenharia e Ciências de Materiais). PIPE - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, PR, Brasil, 2008.

(11) YÉPEZ, Omar. *Influence of different sulfur compounds on corrosion due to naphthenic acid.* Fuel N. 84, p. 97–104. 2005.