

CARACTERIZAÇÃO DE CUPONS DE CORROSÃO PRODUZIDOS POR DIFERENTES FORNECEDORES¹

Angelus Giuseppe Pereira Silva²
Ronaldo Paranhos da Rocha³
Marcello Filgueira⁴
Elaine Cristina Pereira⁵
Dilhermando José Finamore⁶
Mirele Horsth Paiva⁷
Angélica Dias Salvador⁸

Resumo

Cupons são largamente empregados no monitoramento de processos corrosivos. Atualmente empresas de monitoramento adquirem cupons de diferentes fornecedores e pouco sabe-se se alterações na microestrutura e composição química podem alterar a confiabilidade dos resultados de taxa de corrosão. O presente trabalho tem como objetivo caracterizar e avaliar o desempenho de cupons aço carbono, produzidos por três diferentes fornecedores, no monitoramento de processos corrosivos. Na caracterização foram envolvidas as análises por difração de raios X, análise química, microscopia e microdureza Vickers. Os cupons foram ensaiados em loop de corrosão tendo como fluido água deionizada. Para determinar a taxa de corrosão dos cupons foram adotados as normas NACERP0775, ASTM G1-03 e NBR6210. Os cupons apresentam composição química e microestrutura diferentes, entretanto estas variações não alterou significativamente a taxa de corrosão dos cupons produzidos por diferentes fornecedores.

Palavras-chave: Cupons de corrosão; Caracterização; Taxa de Corrosão.

CHARACTERIZATION OF CORROSION COUPONS PRODUCED BY DIFFERENT SUPPLIERS

Abstract

Coupons are widely used in process monitoring corrosive. Currently monitoring companies acquires coupons from different vendors and little is known whether changes in the microstructure and chemical composition may alter the reliability of the results of corrosion rate. The present study aims to characterize and evaluate the performance of carbon steel coupons produced by three different suppliers, monitoring of corrosive processes. In the characterization analyzes were performed with X-ray diffraction, chemical analysis, microscopy and microhardness. The coupons were tested in corrosion loop with deionized water as the fluid. To determine the corrosion rate of the coupons were adopted standards NACERP0775, ASTM G1-03 and NBR6210. The coupons have different chemical composition and microstructure, however these changes did not significantly alter the corrosion rate of the coupons produced by different suppliers.

Keywords: Corrosion coupons; Characterization; Corrosion rate.

¹ Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.²

² Físico, M.Sc., DSc., Prof. Associado, Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV), Centro de Ciência e Tecnologia (CCT), Universidade Estadual Norte Fluminense (UENF). Campos de Goytacazes, RJ, Brasil. angelusdasilva@gmail.com

³ Eng.º Metalúrgico, DSc., Prof. Associado, LAMAV/CCT/UENF, Campos de Goytacazes, RJ, Brasil. paranhos@uenf.br

⁴ Eng.º Mecânico, DSc., Prof. Titular, LAMAV/CCT/UENF, Campos de Goytacazes, RJ, Brasil. marcello@uenf.br

⁵ Físico, M.Sc., DSc. Engenharia e Ciência dos Materiais, Assistente de Projetos de Pesquisa. LAMAV/CCT/UENF, Campos de Goytacazes, RJ, Brasil. elainecp.2012@gmail.com

⁶ Eng.º Produção, M.Sc., Doutorando LAMAV/CCT/UENF, Técnico de Inspeção Equipamentos e Instalações., Petrobrás, Macaé, RJ, Brasil. dilherfinamore@gmail.com

⁷ Aluna Graduação Eng. e Ciência dos Materiais, LAMAV/CCT/UENF, Campos de Goytacazes, RJ, Brasil. mireleteixeira@hotmail.com

⁸ Eng.º Produção. Técnica de Inspeção Equipamentos e Instalações, Petrobrás. Macaé, RJ, Brasil. angelicadias@petrobras.com.br

1 INTRODUÇÃO

A corrosão é definida como sendo um conjunto de fenômenos de deterioração progressiva dos materiais, principalmente dos materiais metálicos, em consequência de reações químicas ou eletroquímicas entre o material e o meio.^(1,2) Segundo Gentil,⁽²⁾ a corrosão pode ocorrer sob diferentes formas, e o conhecimento das mesmas é muito importante no estudo de processos corrosivos. A caracterização segundo a morfologia é a mais utilizada no esclarecimento de mecanismos e na aplicação de medidas adequadas de proteção.

Cupons de corrosão são corpos metálicos de formas e materiais diversos que são dispostos em locais específicos de uma instalação metálica (tubulações e dutos em operação), e expostos por determinado período. Os dutos de transporte de derivados claros e de transporte de petróleo têm o seu processo corrosivo interno monitorado através das informações obtidas por cupons de corrosão, dados de sonda de resistência elétrica e de biocupons. Os cupons instalados são periodicamente retirados e submetidos a ensaios e análises em laboratório para quantificar as taxas de corrosão. Com base nos valores de taxa de corrosão (generalizada ou localizada) dos cupons, os dutos recebem uma determinada classificação que servirá de referência para a implementação das medidas corretivas ou preventivas a serem tomadas.^(3,4)

Atualmente, as empresas de monitoramento de corrosão adquirem cupons de diferentes tipos de fornecedores, nacionais ou importados, e pouco sabe-se se o tipo de processamento durante a fabricação, a composição química, a microestrutura, entre outros parâmetros, que podem alterar a confiabilidade dos resultados obtidos. O exame metalográfico avalia o metal a ser utilizado sob o ponto de vista de sua estrutura, procurando relacioná-la às propriedades físicas, composição, processo de fabricação, etc., de modo a esclarecer ou prever seu comportamento numa determinada aplicação.⁽⁵⁾

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar e avaliar o desempenho de cupons aço carbono, produzidos por três diferentes fornecedores, no monitoramento de processos corrosivos. Visto que a monitoração da corrosão por cupons é uma técnica amplamente utilizada na avaliação dos processos de deterioração dos sistemas de produção de petróleo, o presente trabalho tem uma grande aplicação prática.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Cupons de corrosão de três diferentes tipos de fornecedores, nomeados neste trabalho como fornecedores A, B e C, foram caracterizados metalograficamente. Na caracterização dos cupons foram envolvidas as análises por difração de raios X, análise química, microscopia ótica, confocal e eletrônica, além de medidas de microdureza Vickers.

Para determinação da composição química dos cupons foi utilizado o espectrômetro de emissão ótica Spectromax x identificação 159239. As análises difratométricas foram realizadas no difratômetro Shimadzu XRD 7000, utilizando radiação Cu-K α , na faixa de ângulo 2 θ entre 20° e 100°, com passo de varredura de 0,5°/min. A identificação das fases presentes foi realizada através de comparações com valores tabelados no JCPDS.

Corpos de prova foram preparados metalograficamente, do modo convencional, utilizando para ataque químico o reagente nital 2%. Os microscópios

Olympus (ótico), Olympus OLS4000 (confocal) e Shimadzu SSX-550 (eletrônico de varredura - MEV) foram utilizados para análise microestrutural. Para o cupom produzido pelo fornecedor C foi realizada uma microanálise pontual por Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDS). Os ensaios de microdureza Vickers (HV) foram executados com o auxílio do microdurômetro HMV-2 Shimadzu. Foram realizadas cinco medições para cada tipo de fornecedor, utilizando carga 1 Kgf.

Três cupons retangulares, (73,1 x 22,3 x 3,2 x mm) de cada tipo de fornecedor, foram submetidos a ensaios em *loop* de corrosão, num período de 3 meses, tendo como fluido água deionizada. Durante o ensaio foram coletadas medidas diárias de pH e OD (oxigênio dissolvido). Com o objetivo de manter estabilidade nestes parâmetros durante o período do ensaio, o pH foi mantido no intervalo entre 6,5 e 7,5 e o OD entre 7 e 9 %. Um sensor de resistência elétrica (ER) foi instalado com o objetivo de obter medidas instantâneas a cada 15 min. As taxas de corrosão dos cupons foram determinadas através de medidas do sensor de ER e também através da técnica de perda de massa, de acordo com as normas NACERP0775, ASTM G1-03 e NBR6210.⁽⁶⁻⁸⁾ Os produtos de corrosão foram caracterizados por análise de difração de raios X (DRX), utilizando radiação Cu-K α , na faixa de ângulo 2 θ entre 10 $^{\circ}$ e 100 $^{\circ}$, com passo de varredura de 0,5 $^{\circ}$ /min.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise por espectrometria ótica, que comprovam a composição química dos cupons de corrosão produzidos pelos fornecedores A, B e C, estão apresentados na Tabela 1. Os cupons apresentam composição química comparável ao aço carbono ABNT 1010 (fornecedor A) e ABNT 1018 (fornecedores B e C).⁽⁹⁾

Tabela 1: Análise química por espectrometria ótica

Elementos (%)	Fornecedor A	Fornecedor B	Fornecedor C
Carbono (C)	0,0628	0,1570	0,1880
Manganês (Mn)	0,3180	0,7510	0,8350
Fósforo (P)	0,0218	0,0181	0,0237
Enxofre (S)	0,0164	0,0082	0,0023
Silício (Si)	0,0010	0,1710	0,0500
Impurezas	0,0800	0,2947	0,2010
Ferro (Fe)	99,500	98,600	98,700

A análise de difração de raios X, apresentada na Figura 1, mostra que os cupons produzidos pelos fornecedores A, B e C revelam a fase de ferro estável α , com estrutura CCC, através dos planos cristalográficos (110) $_{\alpha}$, (200) $_{\alpha}$, (211) $_{\alpha}$ e (220) $_{\alpha}$. Apenas no difratograma obtido do cupom produzido pelo fornecedor C foi possível detectar o pico da cementita (002) $_{\text{Fe}_3\text{C}}$, o que se explica pelo maior teor de carbono presente nestes cupons.^(10,11)

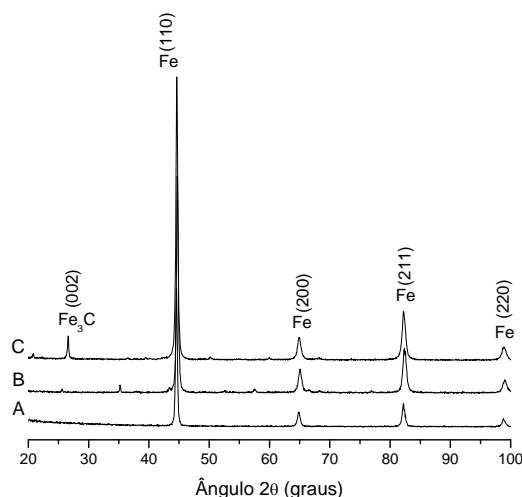


Figura 1 – Difração de raios X dos cupons de corrosão.

O aspecto microscópico dos corpos de prova de cupons produzidos pelos fornecedores A, B e C está apresentado na Figura 2. A superfície após preparação metalográfica convencional, sem ataque químico, revela a presença de muitas inclusões, conforme pode ser observado na Figura 2 por pontos e partículas irregulares escuras.

Inclusões metálicas estão presentes com relativa frequência em ligas metálicas e, no caso do aço carbono, as mais comuns são inclusões de sulfeto de ferro e de sulfeto de manganês. Dependendo do tipo de aço, algumas inclusões podem resultar em diminuição de propriedades mecânicas, especialmente nos aços de alta resistência. Do ponto de vista de corrosão, tanto as inclusões de sulfeto de ferro como as de sulfeto de manganês são catódicas em relação ao aço carbono. As inclusões de sulfeto de ferro são mais catódicas do que as de sulfeto de manganês e, portanto, podem ser mais prejudiciais ao aço-carbono do que as de sulfeto de manganês.^(5,12)

De acordo com a literatura,⁽⁵⁾ as inclusões cor de ardósia, lenticulares ou alongadas, conforme observado nas Figuras 2^a e 2^b, são em geral de sulfeto de manganês. Inclusões de óxidos tomam possuem o formato circular (Figura 2 c). O óxido de alumínio é muito duro e quebradiço e se apresenta, em geral, sob forma de pequenas partículas agrupadas (Figuras 2 a,b,c).



Figura 2 – Aspecto microscópico após polimento dos cupons produzidos pelos fornecedores A (a); B(b) e C(c). Microscopia ótica, aumento 500X.

A Figura 3 apresenta a microestrutura dos cupons de corrosão produzidos pelos fornecedores A (a,b); B(c,d) e C(e,f). Nos aços com baixo teor de carbono,

geralmente, a perlita se localiza nos contornos dos grãos da matriz ferrítica, que se revela em tons claros, conforme observado nas Figuras 3a e 3b.

A microestrutura do cupom produzido pelo fornecedor B (Figuras 3c e 3d) apresenta uma textura alinhada de ferrita e perlita. Nos aços muito laminados ou forjados a quente, os constituintes presentes na microestrutura podem estar dispostos em linhas paralelas, entretanto, as deformações plásticas, produzidas pela estampagem ou forjamento, podem modificar o perfil longitudinal dos aços laminados.⁽⁵⁾

A microestrutura do cupom produzido pelo fornecedor C (Figuras 3e e 3f), apresenta uma matriz composta por grãos ferríticos e, sobreposto a esta matriz, micro carbonetos no estado globular. De acordo com a literatura⁽⁵⁾, as pequenas partículas de cementita agrupam-se em partículas maiores, formando glóbulos de cementita, quando a temperatura de revenido se aproxima muito da zona crítica, permanecendo muitas horas na sua vizinhança. Diz-se então que a cementita está coalescida ou esferoidizada. O coalescimento chega a reduzir a dureza do aço à metade comparado ao estado recozido. Este tratamento é muito utilizado para aços com elevado teor de carbono, o que permite uma economia apreciável na usinagem dos aços (principalmente os extra-duros, hipereutetóides), pois, o esforço exigido para essas operações se torna muito menor, podendo, além disso, ser executadas, frequentemente com ferramentas comuns, em máquinas mais leves.⁽⁵⁾

A cementita globular pode ser visivelmente observada na imagem da Figura 4a, obtida através do MEV. Uma micro-análise pontual por EDS, indicado na Figura 4a por (1), detectou a presença de ferro e carbono, Figura 4 (b). Através da análise semi-quantitativa foi possível detectar 92,709 % de Fe e 7,291 % de C (% em peso). Na literatura observa-se que a cementita (Fe_3C) possui composição química de 93,31 % de Fe e 6,69 % de C (% em peso) o que é compatível com o resultado obtido.^(11,13)

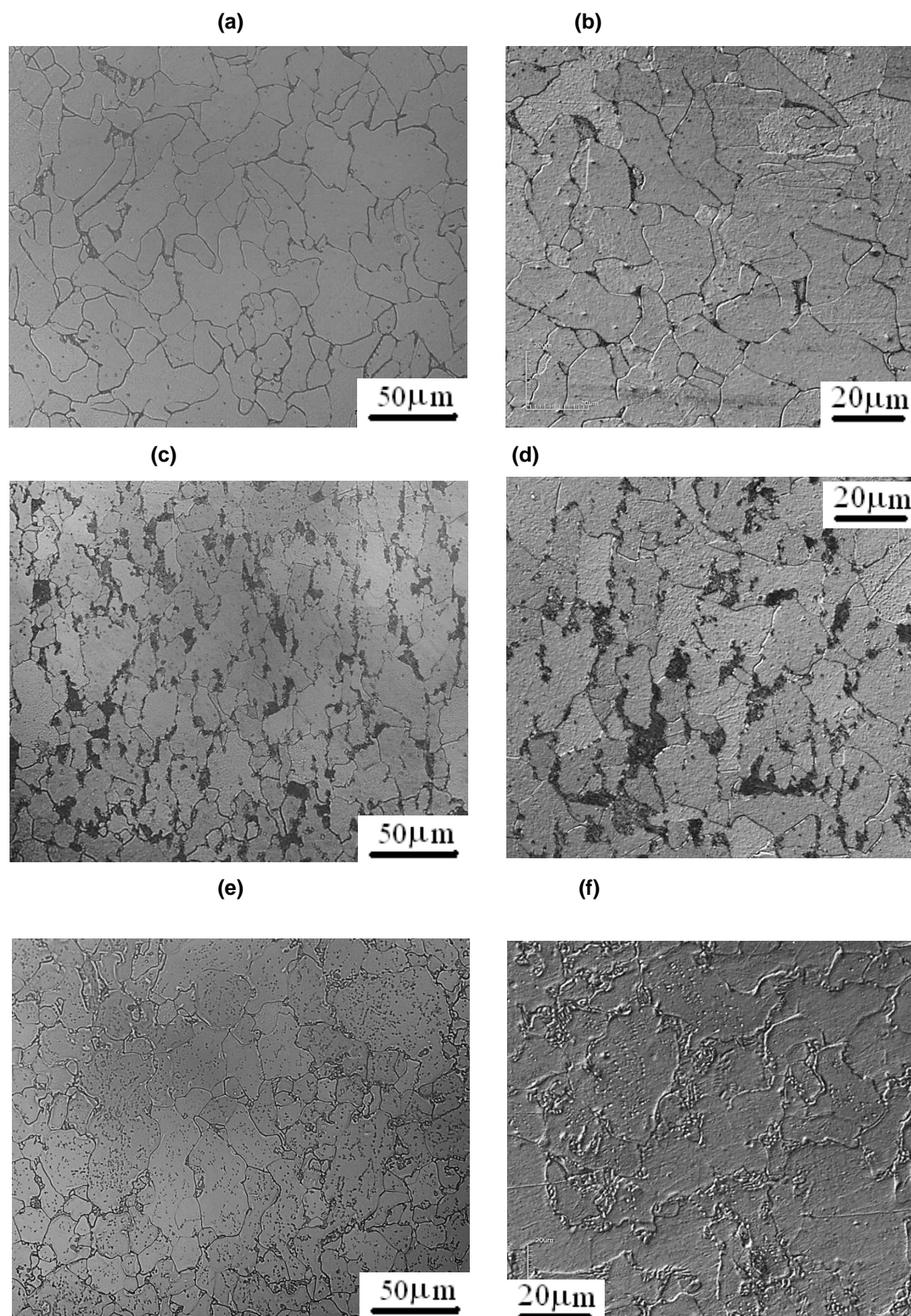


Figura 3 – Microestrutura dos cupons de corrosão produzidos pelos fornecedores A (a,b); B(c,d) e C(e,f). Microscopia ótica (a,c,e) e microscopia confocal (b,d,f). Ataque: nital 2%.

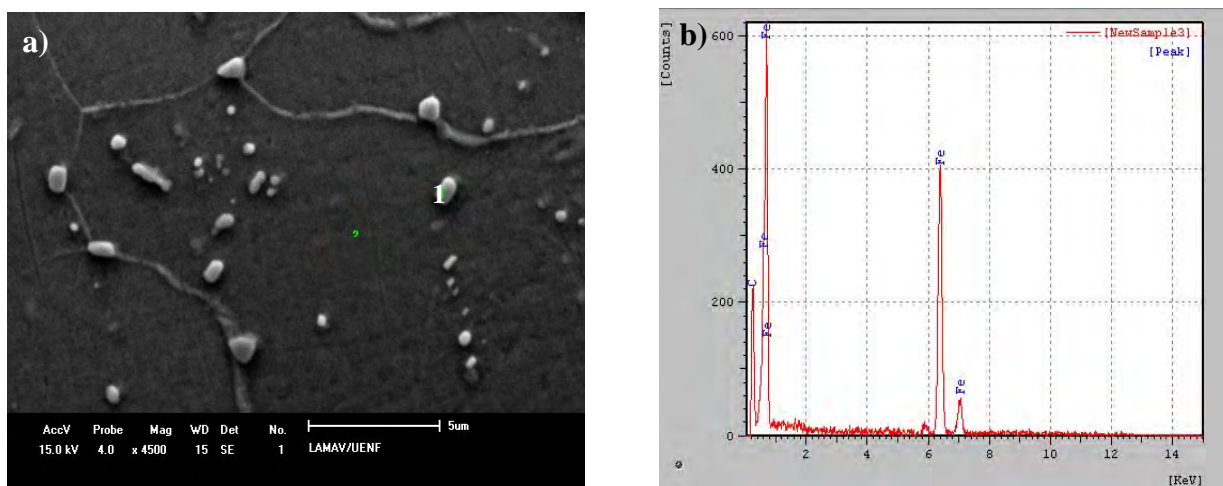


Figura 4 – MEV do cupom C, aumento de 4500x (a). Análise por EDS pontual (b).

Os valores de microdureza Vickers, determinados em cinco regiões dos cupons de corrosão, estão apresentados na Tabela 2. Os cupons produzidos pelos fornecedores A, B e C, apresentam os respectivos valores médios de microdureza Vickers: $100,4 \pm 0,9$ Kgf/mm²; $121,4 \pm 1,5$ Kgf/mm² e $117,4 \pm 0,9$ Kgf/mm². Os valores encontrados são compatíveis com o que é reportado na literatura.^(9,14) Os cupons dos fornecedores B e C (aço 1018), apresentam valores um pouco mais elevados, comparados ao fornecedor A (aço 1010), o que já era esperado, pois, quanto maior o teor de carbono, maior será a quantidade de carbonetos e mais duro será o aço.^(9,13) O alto teor de carbono suplanta o efeito de globalização da Fe₃C, no caso do cupom produzido pelo fornecedor C.

Tabela 2: Medidas de microdureza Vickers (HV) dos cupons de corrosão

HV (Kgf/mm ²)	Fornecedor A	Fornecedor B	Fornecedor C
Região 1	100	123	116
Região 2	100	120	117
Região 3	102	123	118
Região 4	100	121	118
Região 5	100	120	118
Média	$100,4 \pm 0,9$	$121,4 \pm 1,5$	$117,4 \pm 0,9$

Conforme descrito na metodologia, os cupons dos fornecedores A, B e C foram ensaiados em *loop* de corrosão durante um período de 3 meses, tendo como fluido água deionizada. A Figura 5 apresenta os cupons de corrosão retangulares no estado como recebido (a) e após ensaio de corrosão e decapagem química (b). É bem conhecido que o aço-carbono está sujeito à corrosão por pites ou por alvéolos. Após ensaio de corrosão observa-se a formação de alvéolos e a presença de alguns pites.

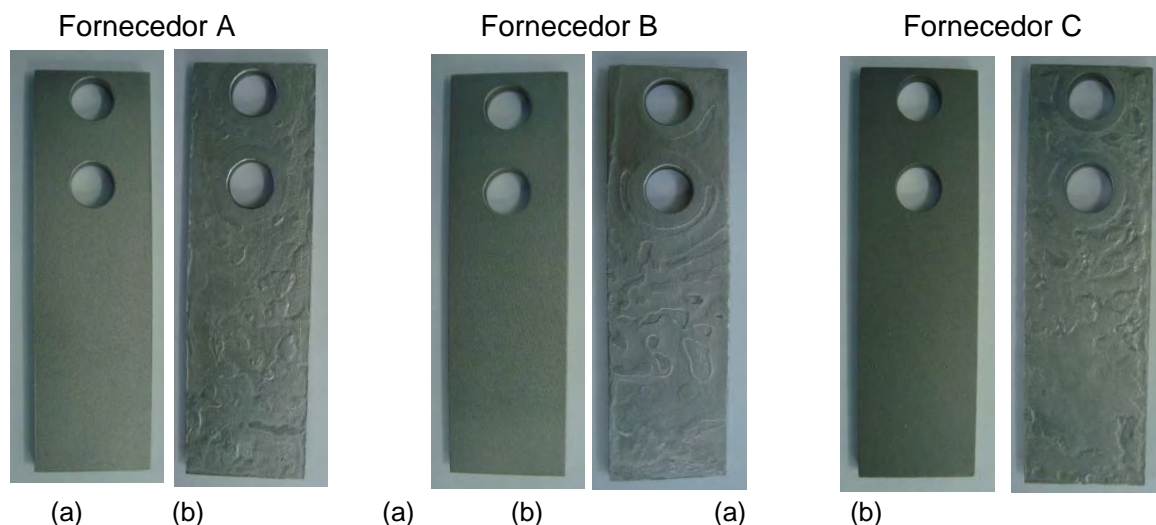


Figura 5 – Cupons de corrosão de diferentes fornecedores. (a) no estado como recebido e (b) após ensaio de corrosão e decapagem química.

A Figura 6 apresenta o gráfico de medidas de pH (a) e OD (b) coletadas diariamente durante o ensaio em *loop* de corrosão. Observa-se que durante todo o período do ensaio estes dois parâmetros foram mantidos praticamente estáveis, o pH no intervalo entre 6,5 e 7,5 e o oxigênio dissolvido no intervalo entre 7 e 9% ou 2 e 4 mg/L. De acordo com Gentil,⁽²⁾ os produtos de corrosão (óxidos de ferro) formados quando o processo corrosivo é influenciado, exclusivamente, pela presença de oxigênio no fluido aquoso, e dependem, além do teor de O₂ do meio, das condições de pH, pressão, temperatura e velocidade, portanto, manter tais parâmetros estáveis durante o ensaio é de suma importância.

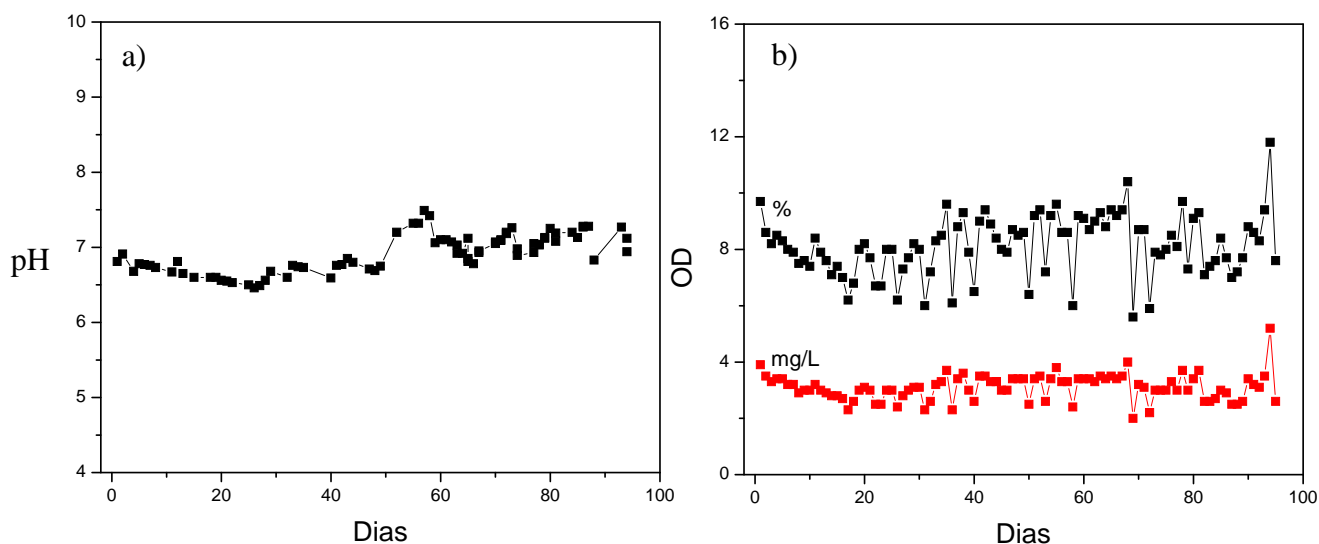


Figura 6 – Medidas de pH (a) e oxigênio dissolvido (OD) (b) coletadas diariamente durante ensaios de corrosão em *loop*.

A Figura 7 mostra os resultados da sonda de resistência elétrica obtidas durante o período de ensaio de corrosão. Em (a) observa-se a perda de espessura do elemento sensor e em (b) as taxas de corrosão obtidas pela sonda de ER. De acordo com a norma NACERP0775, a taxa de corrosão obtida manteve-se a maior parte do tempo dentro da faixa de moderada a alta, no intervalo entre 0,1 - 0,2 mm/ano.

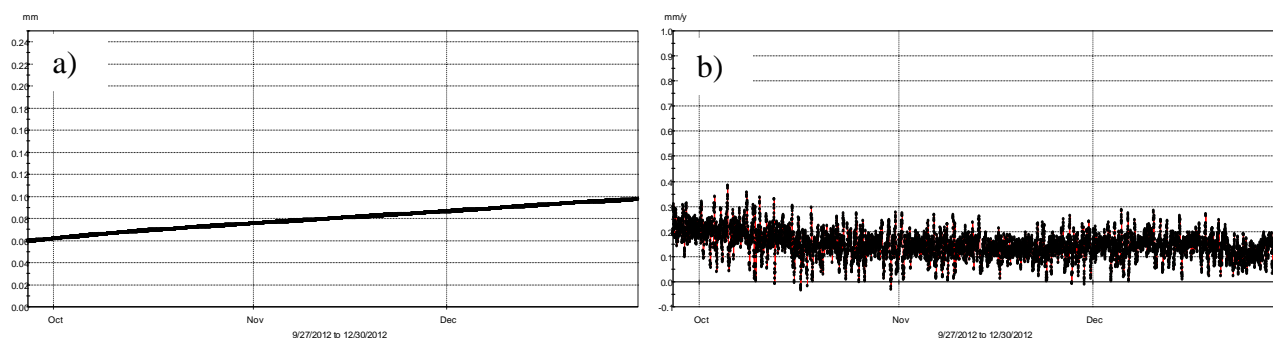


Figura 7 – Resultados de perda de espessura do elemento sensor (a) e taxas de corrosão (b) obtidos pela sonda de resistência elétrica durante os ensaios.

A Tabela 3 apresenta os valores das taxas de corrosão determinadas através da técnica de perda de massa, para todos os corpos de prova ensaiados em *loop* de corrosão. Os cupons produzidos pelos fornecedores A, B e C, apresentam os respectivos valores médios da taxa de corrosão: $0,2931 \pm 0,0415$ mm/ano; $0,3013 \pm 0,0562$ mm/ano e $0,2766 \pm 0,0418$ mm/ano. Levando em consideração o erro, determinado através do desvio padrão em torno da média, os valores são comparáveis e as variações apresentadas não são significativas.

Comparando as técnicas de determinação de taxa de corrosão por perda de massa (Tabela 3) e por sonda de resistência elétrica (Figura 7b), observa-se que as taxas obtidas pelos cupons foram maiores do que as obtidas com a sonda de resistência elétrica. De acordo com a norma NACERP0775 o resultado de taxa de corrosão obtido por ER está no intervalo de faixa de corrosão alta, enquanto que a taxa obtida por perda de massa está na faixa de corrosão severa.

Tabela 3: Valores da Taxa de Corrosão determinada de acordo com as normas NACERP0775, ASTM G1-03 e NBR 6210⁽⁶⁻⁸⁾

Fornecedor	Perda de Massa (g)	Taxa de Corrosão (mm/a)	Média e Desvio (mm/ano)
A	2,2117	0,3274	0,2931 ± 0.0415
	2,0599	0,3049	
	1,6682	0,2469	
B	2,3263	0,3444	0,3013 ± 0.0562
	2,1744	0,3219	
	1,6057	0,2377	
C	2,1928	0,3246	0,2766 ± 0.0418
	1,6749	0,2479	
	1,7374	0,2572	

Os produtos de corrosão formados nas superfícies dos cupons de diferentes fornecedores foram caracterização por difração de raios-X, conforme mostra a Figura 8.

De acordo com a literatura,^(1,2) na interação química do ferro com o oxigênio podem ser formados três óxidos: wustita (FeO-p, CFCC), magnetita (Fe₃O₄-n,

CC-espínélio) e hematita ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-n}$) que cristaliza-se para duas formas alotrópicas, γ metaestável (rede é isomórfica à magnetita) e α estável (rede romboédrica). De acordo com Gentil,⁽²⁾ os constituintes de produtos de corrosão, sobre o aço em presença de água são: $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{nH}_2\text{O}$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$, que se apresenta com coloração castanho-alaranjado ou avermelhado; $\text{Fe}_3\text{O}_4\cdot\text{nH}_2\text{O}$, que possui coloração preta e $\text{FeO}\cdot\text{nH}_2\text{O}$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_2$, que se apresenta com coloração preta ou esverdeada. A oxidação do ferro pelo oxigênio presente na água forma o óxido de ferro hidratado através da reação: $2\text{Fe} + 3/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Na identificação dos produtos de corrosão formados durante ensaio em loop de corrosão, tendo como fluido a água deionizada, foram caracterizados óxido de ferro do tipo hematita Fe_2O_3 e hidróxidos de ferro do tipo goetita e lepidocrocita $\text{Fe}+3\text{O}(\text{OH})$, conforme observado na Figura 8.

O $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$, que é um óxido hidratado, existe sob duas formas, $\alpha\text{-FeO}\cdot\text{OH}$ (goethita) não magnético, e o $\gamma\text{-FeO}\cdot\text{OH}$ (lepidocrocita) magnético. A $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (hematita) e a $\beta\text{-FeO}\cdot\text{OH}$ (akaganeita) são óxidos não hidratados. Estes óxidos considerados não-protetores, quando presentes nos produtos de corrosão podem ser indicativo de contaminação dos fluidos produzidos por O_2 , ou oxidação da amostra. Já magnetita, de cor verde, se hidratada, ou preta, se anidra, geralmente está relacionada à formação de filmes protetores.⁽¹⁵⁾

A goethita é mais estável termodinamicamente que a lepidocrocita. A primeira forma camadas em forma de estalactites, enquanto a segunda em forma de esponja. Já a akaganeita está associada com a expansão do volume do filme formado causando quebra e esfoliação das camadas de corrosão formadas.⁽¹⁶⁾ Em todos os compostos acima o ferro está na forma férrica (Fe^{3+}), já a magnetita (Fe_3O_4) tem um Fe^{2+} e dois Fe^{3+} em cada molécula.⁽¹⁷⁾

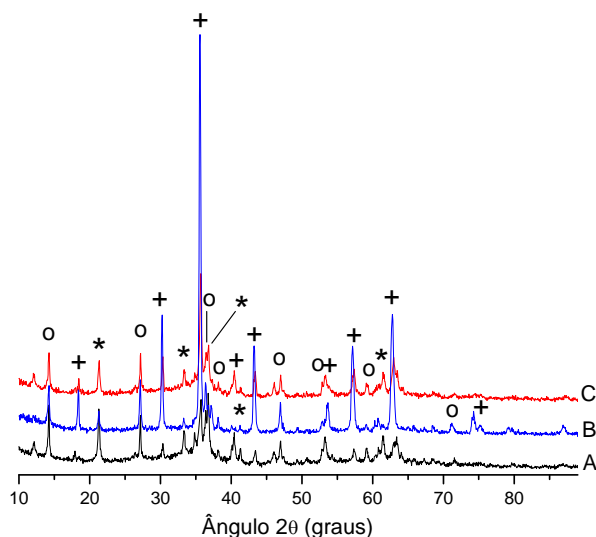


Figura 8 – DRX dos produtos de corrosão formados nos cupons. (o) $\text{Fe}+3\text{O}(\text{OH})$ – lepidocrocita; (+) Fe_2O_3 – hematita; (*) $\text{Fe}+3\text{O}(\text{OH})$ – goetita.

4 CONCLUSÕES

1. A análise química constatou que o fornecedor A produz cupom de corrosão utilizando o aço baixo carbono 1010, enquanto que os fornecedores B e C produzem cupons utilizando o aço 1018.

2. O aspecto microscópico dos cupons revelou a presença de muitas inclusões. A microestrutura dos cupons produzidos pelos três diferentes fornecedores apresenta variações significativas, entretanto, em todas as micrografias foi possível identificar a presença da matriz ferrítica e os carbeto Fe_3C .

3. Os valores de microdureza Vickers dos cupons produzidos pelos fornecedores B e C foram um pouco mais elevados comparados ao cupom do fornecedor A. Esta diferença se justifica devido à variação na composição química dos cupons.

4. As pequenas alterações na composição química, microestrutura e microdureza não alteram significativamente os valores nas taxas de corrosão dos cupons avaliados. Os cupons produzidos pelos três fornecedores apresentam os seguintes valores médios da taxa de corrosão: $0,2931 \pm 0,0415$ mm/ano; $0,3013 \pm 0,0562$ mm/ano e $0,2766 \pm 0,0418$ mm/ano. Levando em consideração o erro, determinado através do desvio padrão em torno da média, os valores são comparáveis e as variações apresentadas não são significativas.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem à Petrobrás, projeto Petro-corrosão, pelo suporte financeiro concedido a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 TELLES, P.C.S. *Materiais para Equipamentos de Processo*. 6^a. Ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 275p, 2003.
- 2 GENTIL, V. *Corrosão*. 4^a. ed, Editora LTC, 341 p., 2003.
- 3 SIMOR, E., NOVAIS, A.P. *Gerenciamento da taxa de corrosão por cupons por perda de massa*. 6^a COTEQ – Conferência sobre tecnologia de Equipamentos, Salvador – BA.
- 4 NÓBREGA, A.C.V, SILVA, D.R., BARBOSA, A.F.F., PIMENTA, G.S. *Monitoração e controle da corrosão em dutos transportadores de gás natural*. 6^a COTEQ – Conferência sobre tecnologia de Equipamentos, Salvador – BA.
- 5 GOLPAERT, H. *Metalografia de produtos siderúrgicos comuns*. 3 ed. São Paulo, Ed. Edgard Blucher Ltda. 412p., 1974.
- 6 ASTM International. *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens - G1-03*, 9p.
- 7 ABNT 6210 NBR. *Corrosão atmosférica — Materiais metálicos — Preparo, limpeza e determinação da taxa de corrosão de corpos-de-prova em ensaios de corrosão*, ISBN 978-85-07-01103-3, 9p., 2008.
- 8 NACE STANDARD RP0775-2005. *Preparation, Instalation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations*, item nº 21017, ISBN 1-57590-086-6, 2005.
- 9 ASM Metals Handbook. *Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*, v.1, 1618p. 2005
- 10 OWEN, E.A., YATES, E.L. *JCPDS 01-071-3763*. Chem. Phys 3, 605, 1935.
- 11 GARDIN, A.I. *JCPDS 03-065-2411*. Kristallografiya 7, 854, 1962.
- 12 GOSTA, W. *Review Article on the Influence of Sulphide Inclusions on the Corrodibility of Fe and Steel*. Corrosion Science, v.9, p.585-602, 1969.
- 13 CALLISTER, W.D.Jr. *Ciências e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. Tradução de Sérgio M.S. Soares. 5 ed., Ed. LTC, 589p., 2002.
- 14 ALMEIDA, N.L., TIROEL, L.C.O., BERNAL, A.G., LAURINO, E.W., NAGAYASSU, V.Y., JORGE, V.A. *Causa de Ocorrência de Pites em Cupons de Corrosão de Aço Carbono*. Intercorr Abraco_267, Fortaleza/CE, 2010.
- 15 POURBAIX, M. *Lições de Corrosão Eletroquímica*. Tradução de M. Elizabete M. Almeida e Cristina M. Oliveira. 3 ed. Bruxelas: Cebelcor, 421p., 1987.

- 16 ZISE, W., CHUNCHUN, X., XIA, C., BEN, X. *The morphology, phase composition and effect of corrosion product on simulated archaeological iron*. Chinese Journal Chemical Engineering 15(3): 433-438p., 2007.
- 17 SARIN, P., SNOEYINK, V.L, BEBEE, J., KRIVEN, W.M., CLEMENT, J.A. *Physico-chemical characteristics of corrosion scales in old iron pipes*, Water Research, 35 (12): 2961-2969p, 2001.