

AVALIAÇÃO DO FATOR HUMANO NOS PARÂMETROS DE CORROSÃO PUNTIFORME DE CUPONS COMERCIAIS*

*Laís Couto dos Santos¹
Elaine Cristina Pereira²
Angelus Giuseppe Pereira da Silva³*

Resumo

A corrosão é definida como um conjunto de fenômenos de deterioração progressiva dos materiais em consequência de reações eletroquímicas. Em determinadas instalações metálicas, tais processos são monitorados através de cupons de perda de massa. Quando tal fenômeno se evidencia pela formação de cavidades com pouca perda uniforme, consistindo em um processo de corrosão puntiforme, ele é denominado corrosão por pites. As normas ASTM G46-94 (2005) e NACE RP0775 (2005) recomendam caracterizar a corrosão por pites através da densidade, tamanho, profundidade e taxa de corrosão por pites. Entretanto, essa é uma avaliação subjetiva e o fator humano pode ter influência significativa na obtenção dos resultados. No presente trabalho, cupons de corrosão comerciais foram expostos à corrosão em câmara de imersão no período de três meses, tendo como fluido a água potável. O objetivo principal foi avaliar a influência do fator humano nos parâmetros de corrosão puntiforme. Foi realizada uma análise comparativa dos resultados obtidos por três diferentes operadores. As alterações encontradas se mostram significativas, entretanto, tais variações não modificaram o nível de classificação dos cupons segundo as normas.

Palavras-chave: Cupons de perda de massa; Pites de corrosão; Fator humano.

EVALUATION OF HUMAN FACTOR ON THE PARAMETERS OF PUNCTIFORM CORROSION IN COMERCIAL COUPONS

Abstract

Corrosion is defined as a group of phenomena of progressive deterioration of materials due to electrochemical reactions. In certain metallic installations such processes are monitored through mass loss coupons. When this phenomenon is evidenced by the formation of cavities, with little uniform loss, it is called pitting corrosion. ASTM G46-94 (2005) and NACE RP0775 (2005) standards recommends characterizing the pitting corrosion using density, depth, size and rate of corrosion pitting. However, this is a subjective evaluation and the human factor can have significant influence on the achievement of results. In this study, commercial corrosion coupons were exposed to corrosion in immersion camera during three months having potable water as fluid. The main objective of this work was to evaluate the influence of the human factor in pitting corrosion parameters. A comparative analysis of the results was obtained by three different operators. The differences found were significant, however, such variations do not change the classification level of the coupons according to the rules.

Keywords: Mass loss coupons; Corrosion pitting; Human Factor.

¹ Aluna do Curso de Graduação LAMAV/CCT/UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

² D.Sc. Professor Associado LAMAV/CCT/UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

³ Ph.D Professor Associado LAMAV/CCT/UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A corrosão é um conjunto de processos de deterioração que afeta adversamente os materiais metálicos e suas ligas. Decorre em consequência de reações entre o material e o meio, sucedendo principalmente, de processos eletroquímicos. Visto que a corrosão está relacionada com os custos dos sistemas na indústria, é notoriamente importante aprimorar os estudos e técnicas para monitoramento deste processo inevitável.

Os dutos de transporte de derivados claros e de transporte de petróleo têm o seu processo corrosivo interno acompanhado através das informações obtidas por cupons de perda de massa, dados de sonda de resistência elétrica e de biocupons. Com base nos resultados apresentados por eles, são tomadas medidas preventivas e/ou corretivas [1,2].

Cupons de perda de massa são corpos de prova metálicos de formas e materiais diversos que são dispostos em locais específicos de uma instalação metálica e expostos por determinado período.

Dentre as formas de corrosão que podem se manifestar, a corrosão puntiforme, caracterizada por um ataque localizado, apresenta morfologia altamente destrutiva. Sua gravidade decorre de sua dificuldade de detecção, por causa dos danos sem grande deterioração aparente do material [3]. A caracterização dos pites é feita seguindo as normas técnicas NACE RP 0775 e ASTM G46-94, analisando os parâmetros área, densidade, profundidade e taxa de corrosão dos pites.

Entretanto, essa é uma classificação subjetiva e tediosa, podendo levar à fadiga ocular e a distorções nos resultados. Percebe-se que, se forem obtidos resultados equivocados, serão tomadas decisões e medidas corretivas inadequadas na aplicação prática.

O objetivo principal dessa pesquisa foi avaliar a influência do fator humano nos resultados de caracterização da corrosão puntiforme em cupons, após estes terem sido submetidos ao ensaio em loop de corrosão. Os resultados foram comparados entre três diferentes operadores através da mesma metodologia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados cupons de perda de massa de três diferentes habituais fornecedores da Petrobrás, identificados neste trabalho como cupons X, Y e Z. Para cada um desses, considerou-se duas geometrias distintas, retangular (R) e disco (D). Dessa forma, os cupons foram nomeados como: XR, XD, YR, YD, ZR e ZD.

Os cupons retangulares têm área $3337,4\text{mm}^2$ ($73,1 \times 22,3 \times 3,2$ mm) enquanto os discos possuem área de $1334,4\text{mm}^2$ ($31,8 \times 13,0 \times 3,2$ mm). Este valor já traz descontada a área dos cupons que fica em contato com os elementos fixadores das hastes, impedido o contato direto entre o cupom e o meio corrosivo.

Os cupons foram submetidos a ensaio de corrosão em câmara de imersão em meio circulante (loop) no período de três meses, tendo como fluido a água potável aerada. Durante o ensaio, foram coletadas medidas diárias de pH, oxigênio dissolvido e condutividade com o objetivo de verificar a estabilidade destes parâmetros.

Após o ensaio de corrosão os cupons foram submetidos à limpeza por decapagem química. A caracterização da corrosão por pites foi realizada de acordo com as normas ASTM G46-94 [4] e NACE RP0775 [5]. Com base nas informações obtidas, foi possível classificar os cupons segundo os parâmetros: A (Densidade), B (Área) e C (profundidade).

Para avaliação da corrosão puntiforme o seguinte método foi adotado. O cupom retangular foi dividido em 8 regiões, frente e verso e, em 10 regiões nas laterais. Três micrografias aleatórias foram registradas de cada região, frente e verso, e apenas uma micrografia de cada região nas laterais, totalizando 58 imagens. Aproximadamente 15% da área do cupom foi caracterizada, o que foi considerado representativo. O cupom em disco foi dividido em 3 regiões, frente e verso e, analisados de forma aleatória nas bordas quando existiam pites. Três micrografias aleatórias foram registradas de cada região, frente, verso e lateral, totalizando 21 imagens. Aproximadamente 13,6% da área total foi caracterizada, o que foi considerado representativo.

A determinação do número de pites e do tamanho deles foi realizada por meio de micrografias analisadas com auxílio de software adequado. A medida da profundidade foi feita considerando os dez pites mais profundos identificados em cada cupom através do microscópio ótico. A Figura 1 ilustra os níveis de classificação para os cupons de acordo com a ASTM G46-94 [4].

O valor da profundidade foi importante também para calcular a taxa máxima de corrosão por pite (PR, pitting rate), que relaciona o processo corrosivo com o tempo. A taxa de corrosão é um parâmetro adotado pela NACE e de acordo com o resultado obtido, a taxa de pites é classificada qualitativamente em baixa, moderada, alta e severa.










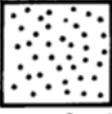





	<u>A</u> DENSIDADE	<u>B</u> TAMANHO	<u>C</u> PROFUNDIDADE
1	 $2.5 \times 10^3 / m^2$	 0.5 mm^2	 0.4 mm
2	 $1 \times 10^4 / m^2$	 2.0 mm^2	 0.8 mm
3	 $5 \times 10^4 / m^2$	 8.0 mm^2	 1.6 mm
4	 $1 \times 10^5 / m^2$	 12.5 mm^2	 3.2 mm
5	 $5 \times 10^5 / m^2$	 24.5 mm^2	 6.4 mm

Figura 1. Níveis de classificação segundo a ASTM G46-94 [4]

Os resultados obtidos pelos três operadores foram comparados e plotados em gráficos relacionados com a geometria, fornecedores e as posições frente (F), verso (V) e lateral (L) de cada cupom.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelos três operadores foram representados em gráficos de barras, de modo a facilitar a comparação dos resultados. As figuras 2 a 4 ilustram os valores médios de áreas (a,c) e a profundidade (b,d) dos dez pites mais profundos, identificados por cada operador. Esses valores estão relacionados com as posições frente (F), verso (V) e lateral (L) de cada cupom, associado às regiões analisadas (1 a 8).

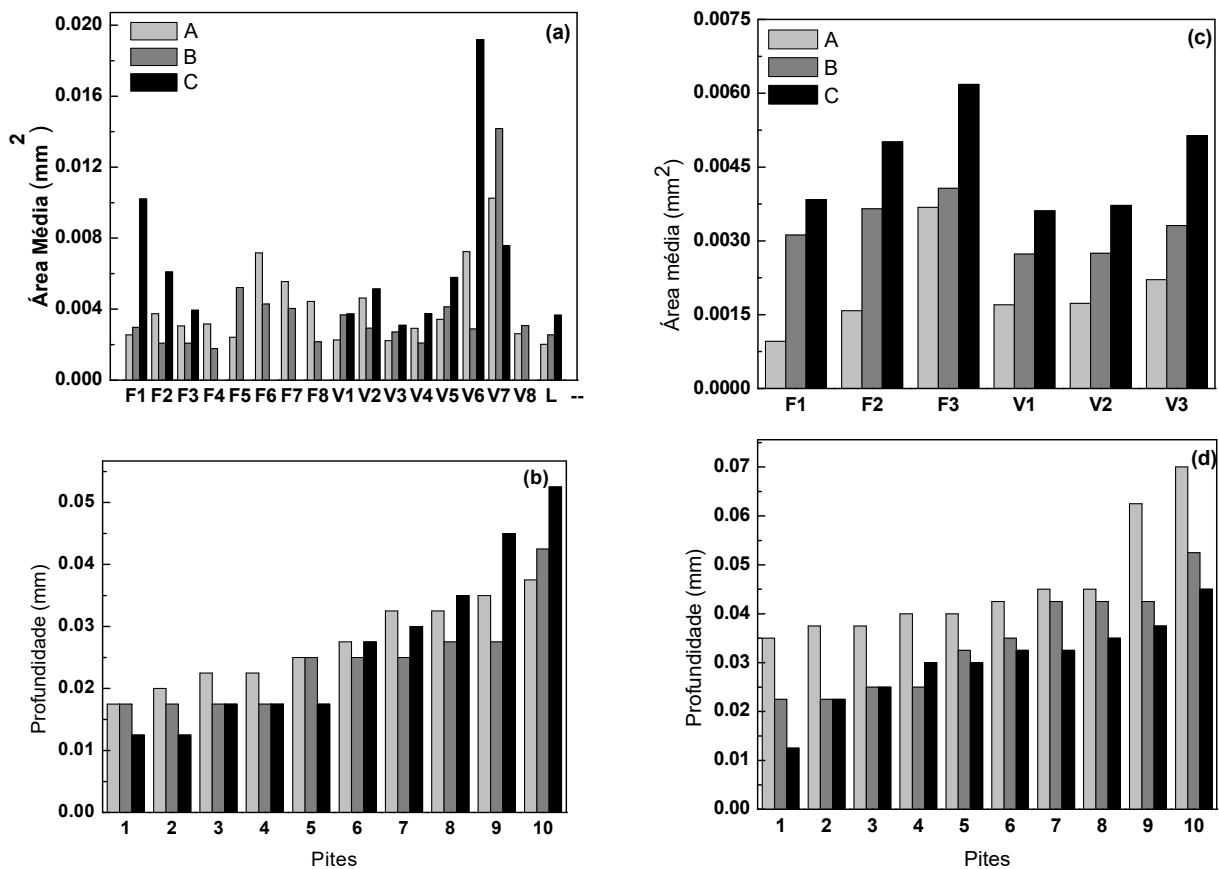


Figura 2. Histograma da área média por região e dos valores de profundidade dos dez pites mais significativos para os cupons XR (a,b) e XD (c,d), caracterizados por microscopia ótica por três operadores A, B e C.

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos pelos três operadores (A, B e C) para o cupom X, em ambas as geometrias, retangular (XR) e disco (XD). Foi observado a ocorrência de pites em quase todas as regiões analisadas e uma boa regularidade entre as medidas de área e profundidade avaliadas pelos operadores. Os valores também se mantiveram similares quando comparados em sua geometria, cupons retangular (XR) e disco (XD). Todavia, comparativamente, os pites do cupom retangular são mais rasos quando contrastados com o cupom disco.

A Figura 3 traz os gráficos obtidos para o fornecedor Y, nas duas geometrias (YR) e (YD), considerando a análise de três operadores (A, B e C). Verifica-se uma similaridade entre os valores de área e profundidade encontrados pelos operadores,

com uma maior ocorrência de pites no cupom retangular (YR). Vale ressaltar, que ambos os cupons apresentaram pites de corrosão concentrados nas regiões laterais.

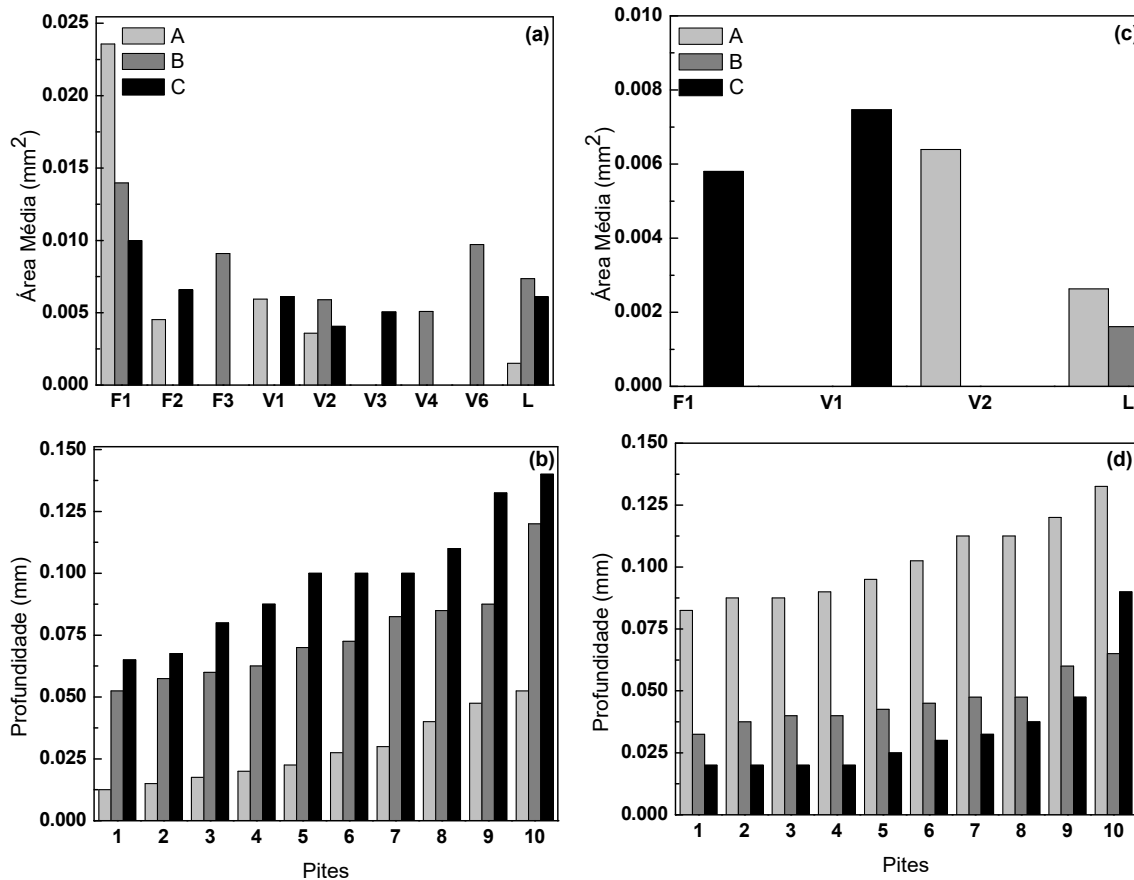


Figura 3. Histograma da área média por região e dos valores de profundidade dos dez pites mais significativos para os cupons YR (a,b) e YD (c,d), caracterizados por microscopia ótica por três operadores A, B e C.

A Figura 4 ilustra os resultados obtidos pelos operadores (A, B e C) para o cupom Z, em ambas as geometrias, retangular (ZR) e disco (ZD). Verifica-se que algumas regiões, apresentaram pites apenas na percepção de alguns operadores. As medidas de profundidade, também mostram valores distintos, principalmente no gráfico (d). Comparando-se os cupons retangulares (ZR) e em disco (ZD), observa-se uma maior quantidade de pites nos cupons disco, porém com profundidades similares.

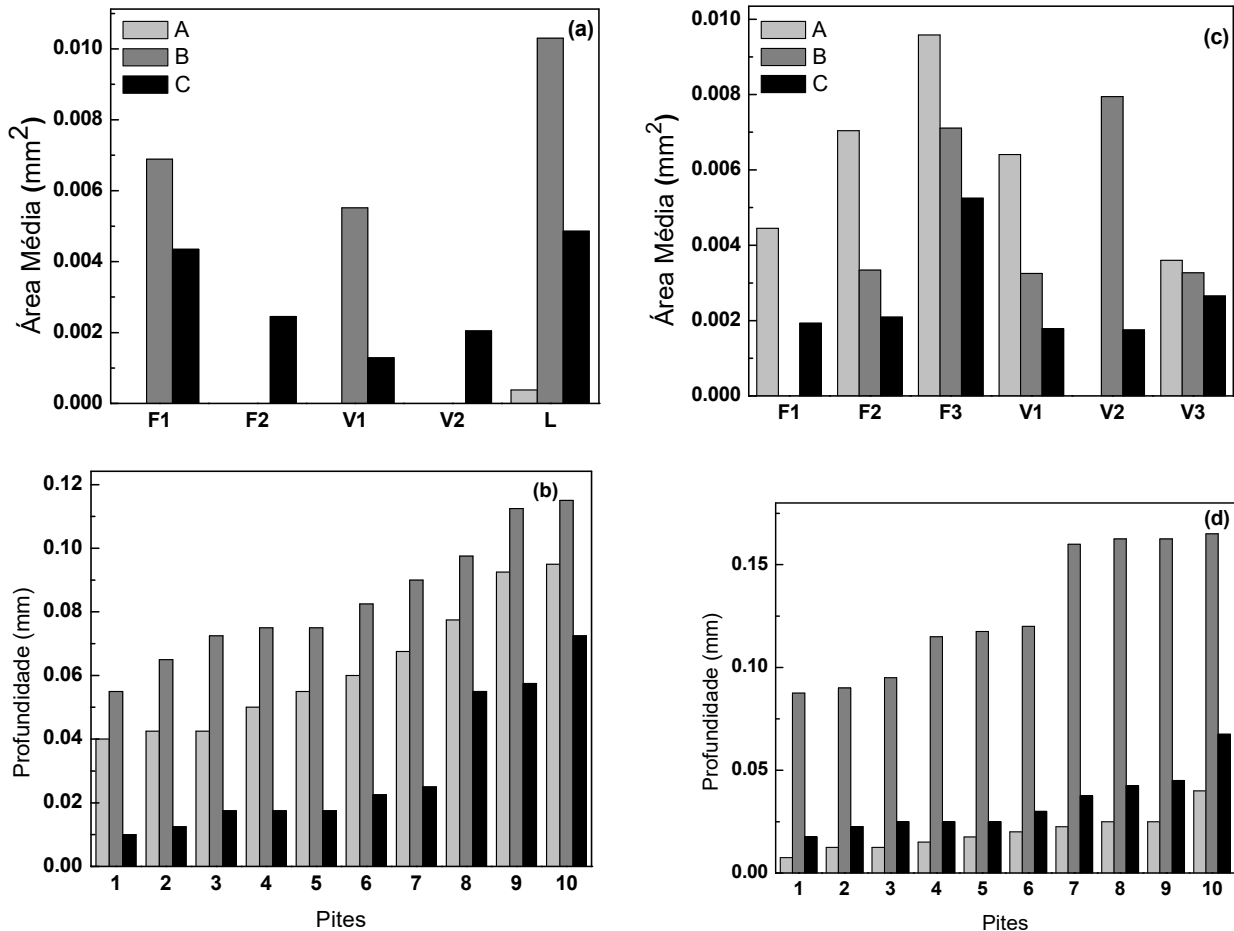


Figura 4. Histograma da área média por região e dos valores de profundidade dos dez pites mais significativos para os cupons ZR (a,b) e ZD (c,d), caracterizados por microscopia ótica por três operadores A, B e C.

A classificação NACE RP 0775 obtida pelos operadores está apresentada na Tabela 1. Ela categoriza os cupons de forma qualitativa com base na taxa máxima de corrosão por pite.

Tabela 1. Classificação dos cupons com base na taxa de corrosão determinada de acordo com a norma NACE RP0775 [5]

Cupom	Operador	Classificação	Cupom	Operador	Classificação
XR	A	Moderada	XD	A	Alta
	B	Moderada		B	Moderada
	C	Moderada		C	Moderada
YR	A	Moderada	YD	A	Severa
	B	Severa		B	Alta
	C	Severa		C	Alta
ZR	A	Alta	ZD	A	Moderada
	B	Severa		B	Severa
	C	Alta		C	Alta

É possível observar que a análise dos operadores, dentre os seis cupons analisados, foi harmoniosa somente no que se refere ao cupom XR. Em todos os demais casos, houve discrepâncias na classificação.

Além disso, a análise por fornecedor indica que os cupons X foram os únicos que não apresentaram corrosão severa na análise dos três operadores e que os cupons Y apresentaram as maiores taxas de corrosão entre os fornecedores avaliados. Pode-se observar que as classificações foram bastante distintas na avaliação dos cupons Z. Isso pode ser devido ao tamanho reduzido dos pites apresentados, que dificulta o exame pelo operador.

Com os resultados obtidos foi feito uma classificação qualitativa segundo a ASTM G46-94 [4] conforme mostra a Tabela 2, relacionando os cupons com os parâmetros densidade (A), área (B) e profundidade (C).

Tabela 2. Valores de densidade, área e profundidade média dos pites. Classificação de densidade (A), área (B) e profundidade (C) de pites de acordo com ASTM G46-94[4]

CUPOM	OPERADOR	CONTAGEM (/mm ²)		ÁREA (mm ²)		Profundidade (mm)		ASTM
		Nº	Densid.	Média	Desvio	Média	Desvio	
XR	A	314	6,3E+05	0,0041	2,3E-03	0,0273	6,8E-03	A5 B1 C1
	B	1413	2,8E+06	0,0037	2,9E-03	0,0243	7,7E-03	A5 B1 C1
	C	437	8,7E+05	0,0066	4,7E-03	0,0268	1,4E-02	A5 B1 C1
XD	A	231	1,3E+06	0,0020	9,2E-04	0,0455	1,2E-02	A5 B1 C1
	B	282	1,6E+06	0,0033	5,2E-04	0,0343	1,1E-02	A5 B1 C1
	C	317	1,8E+06	0,0046	1,0E-03	0,0303	8,9E-03	A5 B1 C1
YR	A	56	1,1E+05	0,0078	9,0E-03	0,0285	1,4E-02	A5 B1 C1
	B	141	2,8E+05	0,0085	3,2E-03	0,0750	2,0E-02	A5 B1 C1
	C	133	2,6E+05	0,0063	2,0E-03	0,0983	2,5E-02	A5 B1 C1
YD	A	117	6,4E+05	0,0045	2,7E-03	0,1023	1,7E-02	A5 B1 C1
	B	54	3,0E+05	0,0016	2,2E-03	0,0458	1,0E-02	A5 B1 C1
	C	9	5,0E+04	0,0056	2,0E-03	0,0343	2,2E-02	A3 B1 C1
ZR	A	9	1,8E+04	0,0004	3,1E-03	0,0623	2,0E-02	A3 B1 C1
	B	25	5,0E+04	0,0076	2,5E-03	0,0840	2,0E-02	A3 B1 C1
	C	50	1,0E+05	0,0030	1,5E-03	0,0308	2,2E-02	A4 B1 C1
ZD	A	31	1,7E+05	0,0062	2,4E-03	0,0198	9,2E-03	A5 B1 C1
	B	72	4,0E+05	0,0050	2,3E-03	0,1275	3,2E-02	A5 B1 C1
	C	86	4,7E+05	0,0026	1,4E-03	0,0338	1,5E-02	A5 B1 C1

Foram observadas variações significativas nos resultados obtidos pelos três operadores, entretanto, todos encontraram, na maioria das vezes, a classificação A5 B1 C1 para os cupons analisados. Essa classificação representa densidade superior a $5 \cdot 10^5$ pites por m^2 , com tamanho inferior a $0,5 \text{ mm}^2$ e profundidade de até 0,4 mm. Pode-se observar que estes valores variaram para os cupons ZR, pois este apresentou uma menor densidade de pites (A3) em ambas as geometrias. Os pites deste cupom, apresentaram também pequenas medidas de área.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram a necessidade de operadores bem treinados para a caracterização dos pites. O fator humano tem influência relevante, principalmente no

que diz respeito à caracterização da profundidade dos pites de corrosão. Um operador devidamente treinado e experiente é fundamental para gerar resultados confiáveis e condizentes com os resultados efetivos da corrosão por pites.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem à Petrobrás, projeto PETRO-CORROSÃO, pelo suporte financeiro concedido a esta pesquisa. Agradecimento especial aos alunos Alcirley Souza, Alan Vianna e Geanni Silveira que colaboraram na obtenção dos resultados.

REFERÊNCIAS

- 1 Roberge, P.R. Handbook of Corrosion Engineering. USA: McGraw-Hill; 1999
- 2 Mc Cafferty, E. Introduction to Corrosion Science. USA: Spring; 2010
- 3 Callister Jr., W.D., Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução, 7ª Edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos; 2008
- 4 American Society for Testing and Materials. ASTM G46-94: Standard Guide for examination and evaluation of corrosion pitting. USA, 2005
- 5 National Association of Corrosion Engineers. NACE RP0775: Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations. USA, 2005