

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

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

Avaliação da corrosão por frestas de diferentes ligas nobres para aplicação em equipamentos de poços injetores

Guedes, Flávia Maciel Fernandes^a; Paiva, Eva Maria de Oliveira^b; Lopes, Eduardo Gullo Muller^c; Andrade, Cynthia de Azevedo^d.

Abstract

Most Petrobras reservoirs located in deep water depends strongly on water injection for its development. In some situations where there are technical or economic constraints to the installation of surface equipments for water injection treatment, especially seawater filtration and deaeration equipments, can turn the project not feasible. In these cases, the technology of subsea raw seawater injection may be an alternative to increase the share of injection without significant impact on existing surface facilities. However, the presence of dissolved oxygen increases the corrosivity of the environment and restricts the materials of construction of the submarine system. Moreover, one must take into consideration that in the case of injection wells, the materials should be suitable for use at reservoir temperatures, since in case of injection pump shut in, the water injected will reach similar temperatures as the reservoir, which can vary until very high temperatures. Immersion and cyclic polarization lab tests were performed in order to ranking the susceptibility to crevice corrosion of alloys UNS N10276, UNS N06059, UNS N08825, UNS N08031, UNS N06625 e UNS S32750 to stagnant seawater at 90°C. Alloys UNS N10276 and N06059 presented the Best performances to these conditions.

Keywords: crevice corrosion, heated sweater, noble materials.

Resumo

A maior parte dos reservatórios da Petrobras situados em águas profundas depende fortemente da injeção de água para seu desenvolvimento. Em algumas situações onde existem restrições técnicas ou econômicas à instalação de equipamentos de superfície para tratamento e injeção de água, a tecnologia de injeção submarina de água do mar minimamente tratada, pode ser uma alternativa para aumentar a cota de injeção sem impacto significativo nas facilidades de superfície existentes. No entanto, a presença de oxigênio dissolvido eleva a corrosividade do meio e restringe os materiais de construção do sistema submarino. Além disso, se deve levar em consideração que no caso de poços injetores, os materiais próximos ao reservatório devem

^a DSc., Engenheira de Processamento, PETROBRAS

^b Técnica Química de Petróleo, PETROBRAS

^c Técnico Químico de Petróleo, PETROBRAS

^d MSc., Química de Petróleo, PETROBRAS

ser adequados à utilização em temperaturas mais elevadas, já que, em caso de parada de funcionamento das bombas injetoras, a água do mar injetada ficará estagnada no poço tendendo a alcançar temperaturas próximas à dos reservatórios que podem variar até valores bastante elevados. Ensaio de imersão e de polarização cíclica foram realizados para avaliação da susceptibilidade à corrosão por frestas em água do mar natural a 90°C das ligas UNS N10276, UNS N06059, UNS N08825, UNS N08031, UNS N06625 e UNS S32750. As ligas UNS N10276 e UNS N06059 apresentaram as melhores performances nestas condições.

Palavras-chave: corrosão por frestas, água do mar aquecida, ligas nobres.

Introdução

Tradicionalmente, a re-pressurização dos reservatórios marinhos é realizada pela injeção de água do mar. Antes de ser injetada, a água do mar é desaerada, filtrada e tratada com biocidas. Estes sistemas convencionais de tratamento e injeção de água em poços submarinos requerem, no entanto, a instalação de vários equipamentos nas plataformas de produção, havendo necessidade de grandes áreas disponíveis para sua implantação.

Em algumas situações onde existem restrições técnicas ou econômicas à instalação de equipamentos de superfície para o tratamento e a injeção de água do mar, a tecnologia de captação e injeção submarina de água do mar minimamente tratada (RWI – Raw Water Injection), pode ser uma alternativa para se aumentar a cota de injeção sem impactos significativos nas facilidades de superfície existentes. A implantação destes sistemas alternativos envolve, contudo, determinados desafios tecnológicos relacionados, principalmente, à especificação de materiais de construção, pois a alta corrosividade da água do mar contendo oxigênio dissolvido associada à alta pressão de injeção, alta temperatura do reservatório e à possibilidade de estagnação, limita, significativamente, os materiais disponíveis para sua construção. Os equipamentos de contenção de areia estão entre as instalações mais críticas, pois estão assentados diretamente no reservatório e, em geral, apresentam uma geometria propícia a ocorrência de corrosão por frestas.

No presente estudo, considera-se que a temperatura da água do mar injetada nas condições normais de injeção não ultrapassa 20°C, e que no caso de parada de injeção a temperatura máxima a ser alcançada seria de 90°C (temperatura do reservatório). Com base em dados da literatura técnica recente (1, 2, 3) e nos limites de temperatura dos materiais metálicos citados na Norma NORSOK M-001 (4), os materiais resistentes à corrosão por frestas na condição de parada de injeção, temperatura de reservatório de 90°C, seriam as ligas C-2000, 59 e o titânio de grau 12. No entanto, buscando-se ampliar as alternativas de metalurgia, e evitar possíveis problemas de fornecimento destes materiais no prazo requerido para o projeto, outros materiais foram avaliados. Ensaios de imersão sob condições de estagnação e de polarização cíclica foram realizados para avaliação da susceptibilidade à corrosão por frestas em água do mar natural a 90°C para as ligas UNS N10276, UNS N06059, UNS N08825, UNS N08031, UNS N06625 e UNS S32750.

Metodologia

A susceptibilidade à corrosão por frestas em água do mar aerada e aquecida a 90°C foi avaliada a partir de ensaios de imersão e de polarização eletroquímica para diferentes ligas de níquel, sendo elas liga 825 (UNS N08825), liga 625 (UNS N06625), liga 31 (UNS N08031), liga 59 (UNS N06059) e hastelloy C-276 (UNS N10276), também foi avaliado o aço inoxidável superduplex (SDSS – UNS S32750). Para referência, devido à sua reconhecida baixa resistência à corrosão em água do mar, inclui-se o aço inoxidável AISI 316 (UNS S31600) na matriz de testes. A tabela 1 apresenta a composição química nominal e o número equivalente de resistência ao pite, PREN destes materiais, cujo número considera-se dar uma medida relativa da resistência de uma liga à corrosão localizada.

O teste de imersão foi realizado em uma autoclave em Hastelloy C-276 com capacidade de 150 litros utilizando-se água do mar natural filtrada grosseiramente pressurizada com ar comprimido em 600 psi, de modo a se garantir a presença de oxigênio.

O teste de imersão para os materiais com os dispositivos de frestas foi realizado em três etapas consecutivas. Nas duas primeiras etapas, os corpos-de-prova foram imersos em água do mar por uma semana a temperatura ambiente (cerca de 25°C), e então, eram aquecidos a 90°C, sendo mantidos nesta temperatura por mais 30 dias. Na terceira etapa, os corpos-de-prova também ficaram inicialmente imersos por uma semana a temperatura ambiente antes de se aumentar a temperatura do sistema para 90°C, no entanto, nesta terceira etapa, os corpos-de-prova foram mantidos a 90°C por mais 60 dias. A cada etapa todo o inventário de água do mar era trocado e os materiais eram retirados para análise.

Todos os materiais foram testados em triplicata para cada etapa, no entanto, devido à quantidade reduzida de determinados materiais, especificamente para as ligas 31 e 59, somente foram retirados corpos-de-prova após a segunda e a terceira etapas, e no caso do Hastelloy C-276 somente foram retirados os corpos-de-prova em triplicata após a terceira etapa. A referência em aço inoxidável AISI 316 somente foi incluído nas duas primeiras etapas. Os corpos de prova utilizados nos ensaios tiveram suas superfícies preparadas de acordo com a norma ASTM G-48 (5). Cada dispositivo de frestas do tipo MCA (*Multiple Crevice Assemble*) foi fabricado em acetal de acordo com as dimensões descritas nesta mesma norma e o torque aplicado a cada um foi de 8,5 N.m. Cada conjunto de corpos-de-prova de uma mesma etapa era fixado em suportes construídos em liga C-276 de modo a facilitar a retirada dos mesmos (Figuras 1a e 1b).

Após o término de cada etapa, um suporte era retirado para avaliação da superfície dos corpos-de-prova. Os corpos de prova eram, então, limpos e fotografados, sendo em seguida levados a lupa e ao microscópio ótico para avaliação mais detalhada da superfície, incluindo medida máxima de profundidade de pite, contagem dos pites e densidade e profundidade de frestas de acordo com ASTM G-46 (6).

Tabela 1 – Composições químicas, em percentual em peso, e PREN dos materiais testados.

Nº UNS	Ni	Cr	Mo	N	Fe	Outros	PREN
S31600	10-14	16-18	2-3		Bal.	Mn max 2, P max 0,045, S max 0,03, Si 1,0	18
S32750	6,5	25	3,6	0,26	64,64		41,04
N06625	Min 58	20-23	8-10		Max 5	Al max 0,4, Co max 1, Ti max 0,4, Si max 0,5, Nb max 4,15	52,7
N08825	38-46	19,5-23,5	2,5-3,5			Al max 0,35, Mn max 0,35, Ti 1-1,7, S max 0,01	35,05
N06059	56-63	22-24	15-16,5		Max 1,5	Co max 0,3, Mn max 0,5, S max 0,005, P max 0,015	75
N08031	31	27	6,5	0,2			51,6
N10276	57-59	14,5-16,5	15-17		4-7	Co max 2,5, Mn max 1,0, S max 0,03, P max 0,04	68,3

* PREN = %Cr + 3,3 (%Mo + 0,5 x %W) + 16x%N

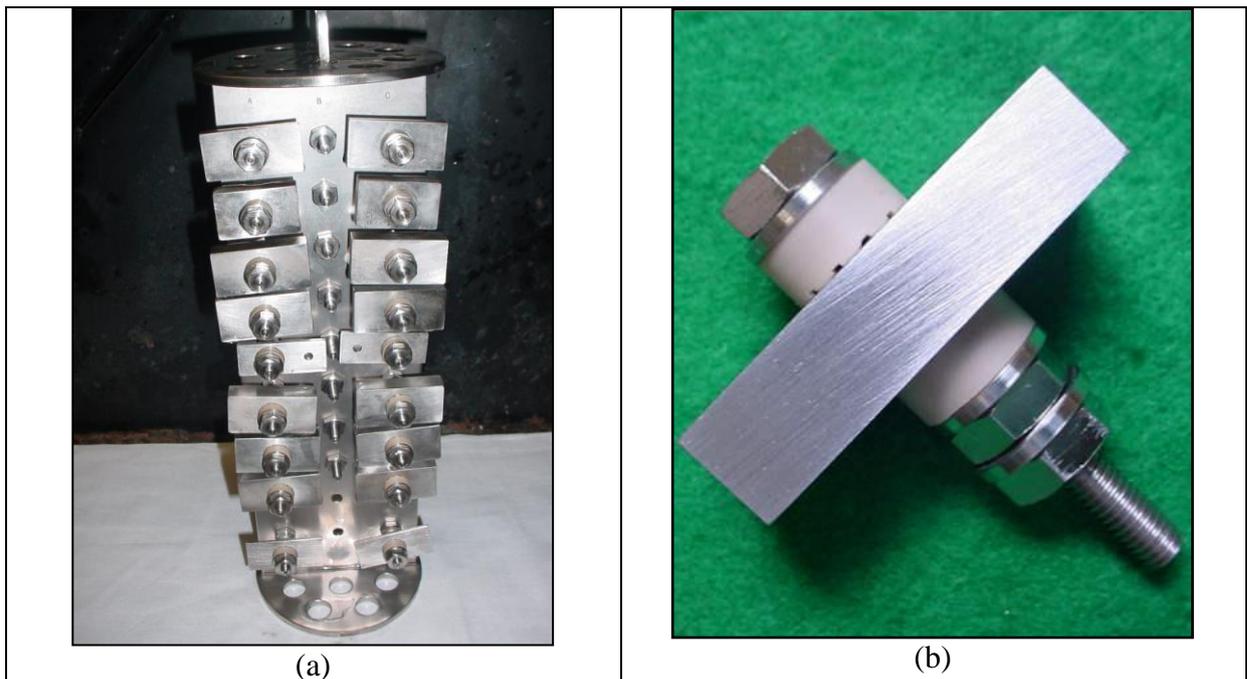


Figura 1 – (a) Suporte contendo os corpos-de-prova e seus respectivos dispositivos de frestas, (b) Detalhe da montagem do dispositivo de frestas no corpo-de-prova.

Os ensaios eletroquímicos foram realizados com o mesmo tipo de corpo-de-prova com dispositivo de frestas apresentado na figura 1(b), porém foi feita uma rosca para fixar haste de contato elétrico, e respectivamente, um eletrodo Lazaran (Ag/AgCl) e um de platina, como referência e contra-eletrodo. Cada montagem em autoclave, continha apenas um corpo-de-prova que era deixado estabilizando a temperatura ambiente de um dia para o outro (por cerca de 20 h), e então, após alcançar-se a temperatura de 90°C, deixava-se estabilizando o corpo-de-prova por mais duas horas antes de iniciar a polarização eletroquímica. Também foi avaliado o potencial redox da água do mar natural tanto na temperatura ambiente quanto à 90°C utilizando-se um eletrodo de platina e como referência um eletrodo Lazaran.

A polarização potenciodinâmica com taxa de varredura de 0,1 mV/s era realizada até se alcançar uma densidade de corrente eletroquímica de aproximadamente 500 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, e então, se procedia a varredura reversa (redução do potencial com a mesma taxa de varredura de 0,1 mV/s). Ao final de cada teste eletroquímico se observava se a região de fixação (rosca) havia sofrido corrosão por frestas, e caso positivo, a curva de polarização obtida era descartada.

A partir deste ensaio obtinha-se o potencial de frestas, ou seja, o potencial no qual a densidade de corrente alcançava 10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, e com a varredura reversa obtinha-se o potencial de repassivação para cada material (também ao alcançar 10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$), ou seja, o potencial no qual o filme passivo era restabelecido.

Resultados e discussão

Os resultados dos testes de imersão obtidos após a primeira etapa indicaram que o material de referência AISI 316 e a liga 825 foram os que apresentaram maior densidade de pites, assim como, apresentaram corrosão por frestas com profundidades máximas de, respectivamente, 0,158 mm e 0,024 mm (figuras 2 e 3). Os demais materiais apresentaram pouquíssimos pites por unidade de área (da ordem de $2,5 \times 10^3/m^2$ conforme norma ASTM G-46 (6)), embora também tenha sido observada a ocorrência de corrosão por frestas no material superduplex nesta etapa, conforme apresentado na figura 4.

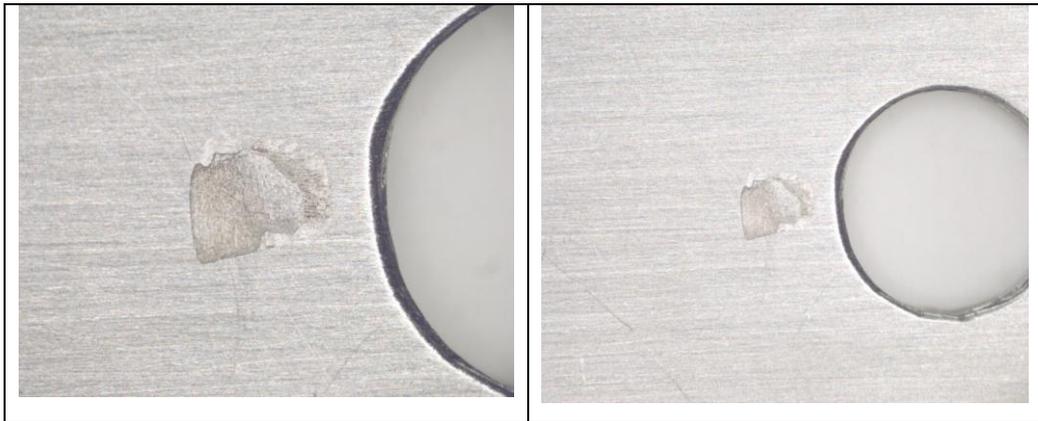


Figura 2 - Fotos do corpo de prova AISI 316, com aumento de 20x (foto da esquerda) e 10x (foto da direita), na lupa, após término da primeira etapa.

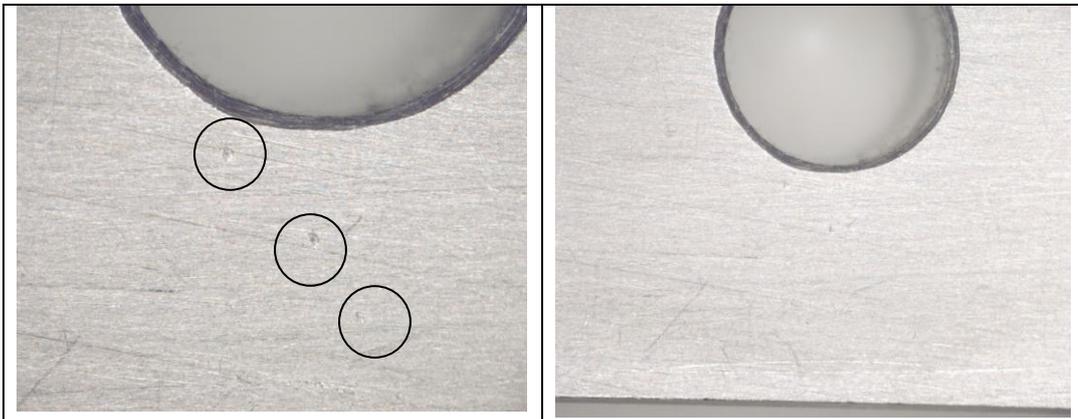


Figura 3 - Fotos do corpo de prova em liga 825, com aumento de 20x (foto da esquerda) e 10x (foto da direita), na lupa, após término da primeira etapa.

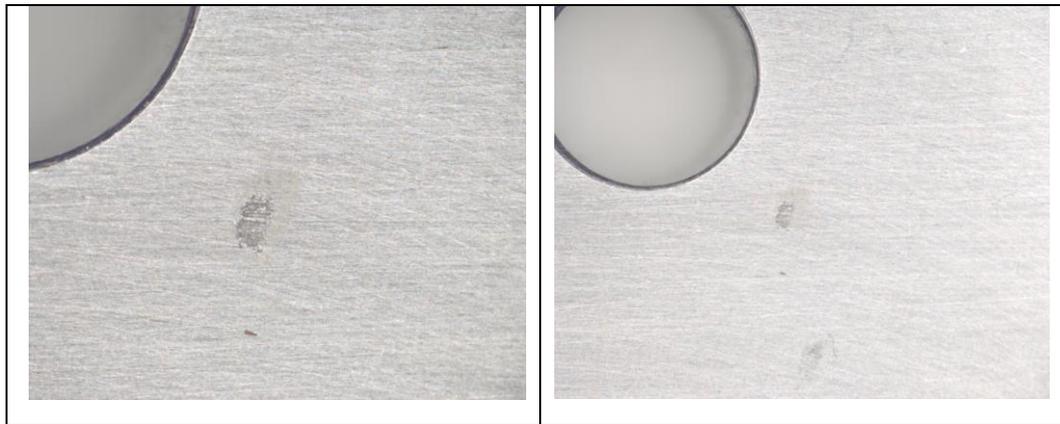


Figura 4 - Fotos do corpo de prova em aço superduplex (25%Cr), com aumento de 20x (foto da esquerda) e 10x (foto da direita), na lupa, após término da primeira etapa.

A análise superficial dos materiais retirados após a segunda e a terceira etapas do teste de imersão, indicou que a liga 825 e o aço inoxidável superduplex, nesta ordem, foram os materiais que apresentaram maior densidade de pites, assim como, morfologia característica de corrosão por frestas. Os demais materiais apresentaram baixa densidade de pites apenas.

A tabela 2 apresenta de forma resumida os resultados das análises de superfície dos materiais testados para cada etapa do ensaio de imersão em água do mar natural aquecida a 90°C. Foi considerada como corrosão por frestas, a corrosão ocorrida sob o dispositivo de frestas com profundidade de pelo menos 20 μm . Para avaliação da densidade de pites foram considerados todos os pites acima de 10 μm .

Embora não sejam exatamente correlatos entre si, os resultados dos testes de imersão se mostraram coerentes com o esperado quanto à susceptibilidade dos materiais à corrosão localizada em água do mar de acordo com os PRENs (tendência de que quanto maior o PREN maior a resistência à corrosão localizada).

Tabela 2 - Resultados ao final de cada etapa dos ensaios de imersão em água do mar natural a 90°C.

Material	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
S31600	+, A	+, A	NA
S32750	+, A	+, B	(+), B
N06625	(+), B	(+), B	(+), B
N08825	+, A	+, A	(+), A
N06059	NA	0, B	0, B
N08031	NA	0, B	0, B
N10276	NA	NA	0, B

NA: não avaliado

0: ausência de corrosão por frestas (< 20 µm)

(+): leve ataque por frestas (pites na região da fresta)

+: corrosão por frestas

A: alta densidade de corrosão por pites

B: baixa densidade de corrosão por pites ($\leq 2,5 \times 10^3 / \text{m}^2$ conforme norma ASTM G-46)

O potencial redox da água do mar a temperatura ambiente foi de aproximadamente 172 mV(Ag/AgCl) e à 90°C observou-se um aumento do potencial significativo chegando-se a 288 mV(Ag/AgCl).

A figura 5 apresenta as curvas potenciodinâmicas com varredura reversa obtidas para os diferentes materiais avaliados, enquanto na tabela 3 encontram-se os valores dos potenciais de corrosão a circuito aberto (E_{corr}) e dos potenciais de frestas (E_{frestas}) extraídos destes ensaios eletroquímicos. Também foi realizada polarização potenciodinâmica para a platina, aplicando-se os mesmos parâmetros de varredura. A ordem crescente de potencial de frestas obtida para os materiais testados é apresentada abaixo:

⇒ 316 < liga 825 < Superduplex < liga C276 < liga 625 < liga 59 < liga 31

Observa-se nas curvas de polarização obtidas que para os materiais de maior PREN, liga C276 e liga 59, ocorre apenas uma pequena histerese, resultando em menores diferenças entre o potencial de frestas e de repassivação, e indicando que estes materiais não são susceptíveis à corrosão por frestas nestas condições. Para os demais materiais observa-se uma histerese significativamente maior.

A figura 6 apresenta graficamente as diferenças entre o potencial de frestas e o potencial de repassivação obtidos para cada material. Embora a liga 31 apresente a maior diferença entre os potenciais de frestas e de repassivação, o seu potencial para iniciação da fresta é bastante elevado, da ordem de 600 mV(Ag/AgCl). Na literatura técnica (7, 8) encontra-se referência

sobre o enobrecimento do potencial a circuito aberto de ligas de níquel e de aços inoxidáveis superduplex em água do mar natural a temperatura ambiente devido à formação de biofilmes sobre a superfície dos mesmos, chegando-se a valores entre 250mV(Ag/AgCl) e 300 mV(Ag/AgCl). No caso, por exemplo, de poços injetores de água do mar, os equipamentos de poço estarão geralmente expostos a temperaturas mais baixas próximas a 20°C, e somente no caso de parada de injeção, a temperatura dos equipamentos de poço em contato com o reservatório equalizariam suas temperaturas com as do reservatório.

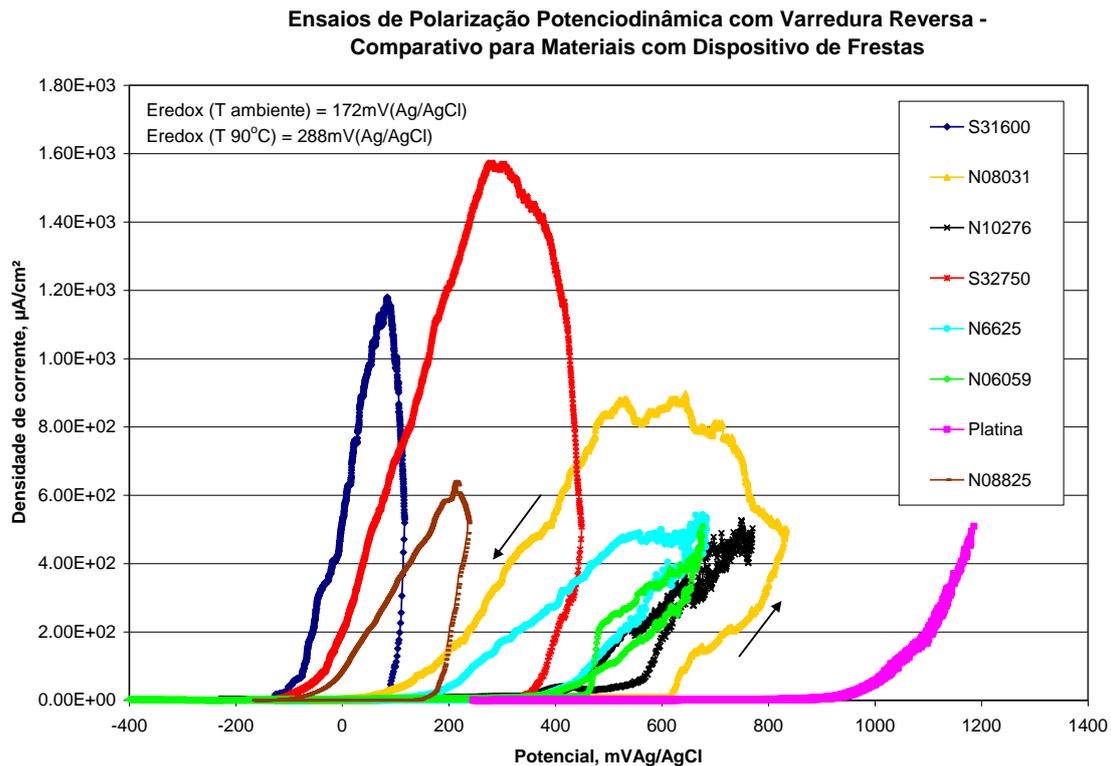


Figura 5 – Curvas potenciodinâmicas com varredura reversa obtidas para o AISI 316, superduplex, liga 825, liga 625, liga 59, hastelloy C-276, liga 31 e platina em água do mar natural a 90°C.

Tabela 3 – Potenciais a circuito aberto (E_{corr}) e de frestas obtidos para os materiais ensaiados em água do mar a 90°C.

Número UNS	E_{corr} , mV(Ag/AgCl)	Efrestas, mV(Ag/AgCl)
S31600	-126,2	77,4
N6625	-172,4	364
N8825	-167,41	158,2
N08031	-119,49	613,2
N10276	-227,77	340
S32750	-150,38	339,2
liga 59	-288,62	423,4

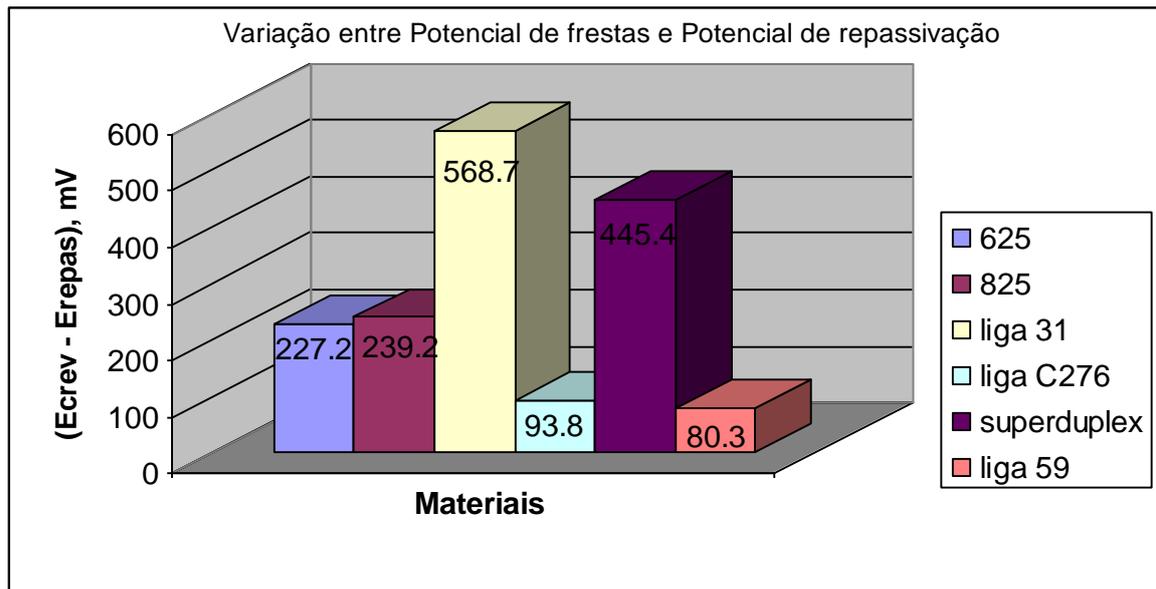


Figura 6 – Variação entre potencial de frestas e potencial de repassivação para os diferentes materiais testados.

Para alguns materiais foram realizadas curvas de polarização potenciodinâmica com varredura reversa também para os materiais sem o dispositivo de frestas. Observa-se na figura 7 a similaridade entre as curvas de polarização obtidas para a liga C-276 com ou sem o dispositivo de frestas em água do mar natural a 90°C, indicando não haver tendência à corrosão por frestas nestas condições. Para a liga 825, no gráfico comparativo apresentado na figura 8, observa-se que o potencial de quebra do filme passivo, potencial de pites ocorre em potencial mais nobre que o potencial de frestas e que nestas condições de teste este material susceptível tanto à corrosão por frestas quanto por pites. Já no caso da liga 625, o comparativo entre as curvas de polarização obtidas com e sem dispositivo de frestas mostra que na ausência de dispositivo de frestas este material apresenta muito baixa histerese, não se mostrando susceptível a ocorrência de pites em água do mar natural a 90°C, e que este comportamento muda ao se incluir a fresta, indicando que este material é passível à ocorrência de corrosão por frestas nestas condições.

Comparativo liga C276 com e sem dispositivo de frestas em Água do Mar Natural a 90°C

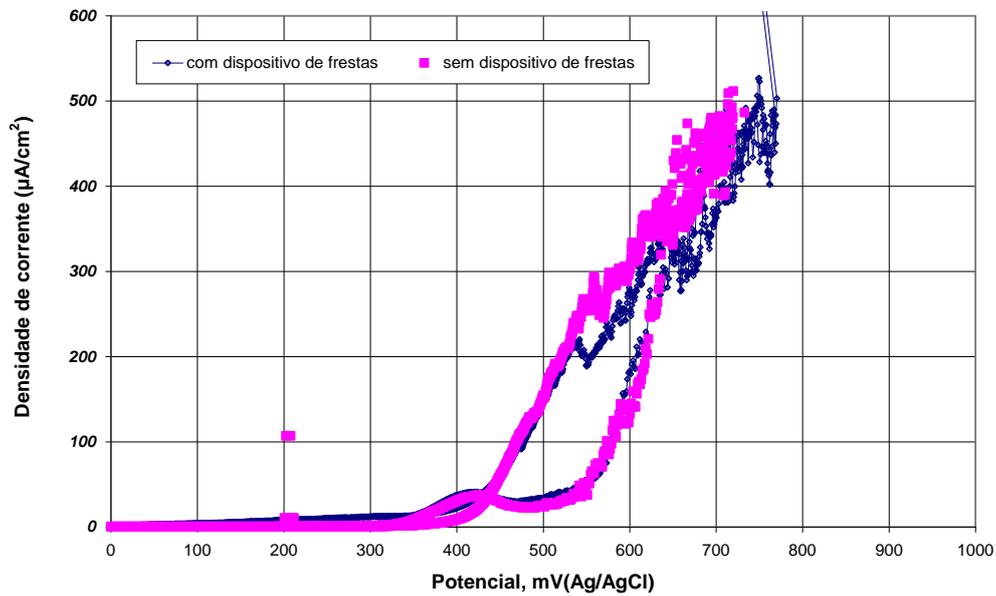


Figura 7 - Curvas de polarização potenciodinâmica com varredura reversa para a liga C-276 com e sem dispositivo de frestas em água do mar natural a 90°C.

Liga 825 - Comparativo com e sem dispositivo de frestas em água do mar natural a 90°C

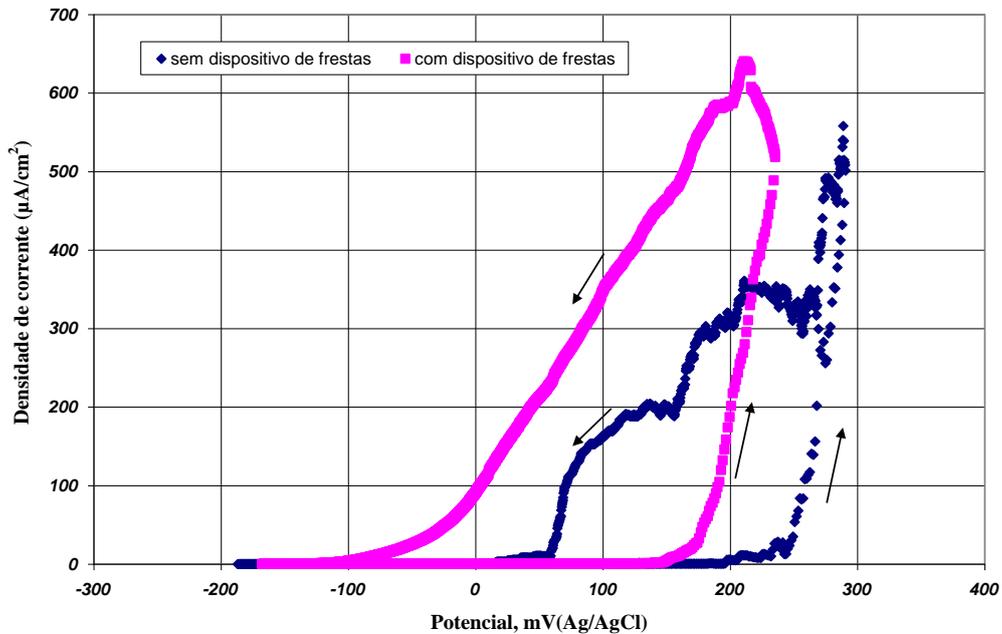


Figura 8 – Curvas de polarização potenciodinâmica com varredura reversa para a liga 825 com e sem dispositivo de frestas em água do mar natural a 90°C.

Comparativo com e sem dispositivo de frestas para Liga 625 em Água do Mar Natural a 90°C

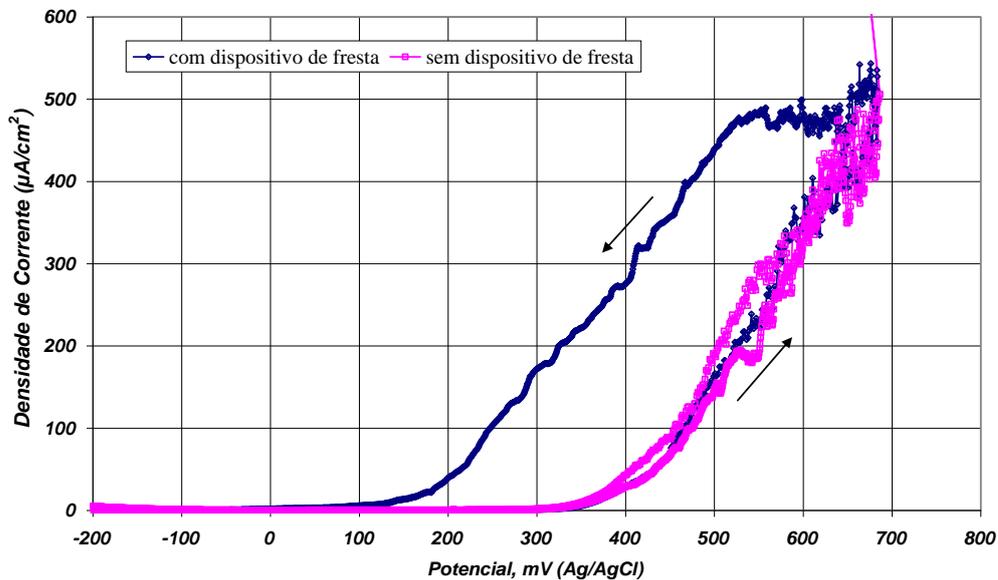


Figura 9 - Curvas de polarização potenciodinâmica com varredura reversa para a liga 625 com e sem dispositivo de frestas em água do mar natural a 90°C.

Os resultados eletroquímicos corroboram, de modo geral, com os resultados dos testes de imersão obtidos a 90°C. As ligas UNS N10276 e UNS N06059, valores de PREN, respectivamente de 68,3 e 75, apresentaram os melhores resultados tanto nos testes de imersão quanto de polarização eletroquímica, enquanto os piores resultados foram obtidos para a referência em aço inoxidável AISI 316, seguidos dos materiais UNS N08825 e UNS S32750. Os materiais UNS N08031 e UNS N06625, com valores de PREN próximos entre si, apresentaram comportamentos intermediários com vantagem para a liga 31 observada nos testes de imersão. Os resultados dos ensaios eletroquímicos corroboram com esta vantagem em função do elevado potencial de frestas necessário para iniciação da fresta obtido para este material, porém conforme indicado pela grande histerese em sua curva de polarização com varredura reversa, após iniciado o processo de corrosão por frestas este material dificilmente reformará seu filme passivo, já que apresentou a maior diferença entre os potenciais de frestas e de repassivação entre os materiais avaliados. Com isso, levando-se em consideração, tanto os ensaios de imersão quanto os eletroquímicos, a ordem crescente de resistência à corrosão por frestas é apresentada a seguir: liga 825 < Superduplex < liga 625 < liga 31 < liga C276 < liga 59.

Para a aplicação dos materiais UNS N08031 e UNS N06625, sobretudo da liga UNS N06625, em sistemas de contenção de areia expostos a reservatórios com temperatura de 90°C, deverá empregar sistemas de contenção que minimizem a geometria de frestas, de modo a mitigar o risco de redução da vida útil da instalação e de produção de areia devido à corrosão por frestas.

A água do mar é uma mistura complexa de sais inorgânicos (principalmente cloreto de sódio), gases dissolvidos (oxigênio), sólidos suspensos, matéria orgânica e organismos vivos, sendo difícil obter-se resultados representativos em laboratório, que reproduzam o aumento de potencial natural causado pela formação de biofilmes sobre a superfície dos materiais. No entanto, nas condições de temperatura do presente trabalho, ou seja, 90°C, não são propícias à atividade microbiana, e somente nas condições normais de injeção de água do mar com temperaturas na faixa ideal à atividade microbiana é esperado um aumento dos potenciais dos materiais pela atividade microbiana. Porém neste caso, as temperaturas são bem inferiores da ordem de 20°C. Conforme dados da literatura os materiais com PREN superiores a 40, apresentam boa resistência à corrosão localizada (pite e frestas) na ausência da adição de oxidantes, tais como hipoclorito, utilizados como tratamento biocida (3).

Vale ressaltar que a geometria de frestas, incluindo o tipo de material do dispositivo, o torque aplicado, a profundidade da fresta, a rugosidade, entre outros parâmetros, interfere na susceptibilidade à corrosão por frestas dos materiais que formam filmes passivos.

Conclusões

Ensaio de imersão e de polarização potenciodinâmica com varredura reversa foram realizados para avaliação da susceptibilidade à corrosão por frestas em água do mar natural a 90°C das ligas UNS N10276, UNS N06059, UNS N08825, UNS N08031, UNS N06625 e UNS S32750. Dispositivos de frestas do tipo MCA (*Multiple Crevice Assemble*) foram fabricados em acetal de acordo com as dimensões descritas na norma ASTM G-48 e o torque aplicado a cada um foi de 8,5 N.m. Os ensaios de imersão sob condições de estagnação foram realizados em três etapas consecutivas com total troca do inventário de água do mar a cada etapa, totalizando 19 semanas.

Sob estas condições de teste, obteve-se a seguinte classificação em ordem de pior para a melhor performance dos materiais avaliados: UNS N08825 < UNS S32750 < UNS N06625 < UNS N08031 < UNS N10276 < UNS N06059. As ligas UNS N10276 e UNS N06059 foram as únicas que demonstraram resistência à ocorrência de corrosão por frestas em água do mar natural a 90°C tanto a partir dos testes de imersão quanto dos testes eletroquímicos.

Os materiais UNS N08825 e UNS S32750 apresentaram corrosão por frestas significativa, não sendo apropriados para os equipamentos de fundo de poço sujeitos a altas temperaturas em caso de parada de injeção de água do mar, situação na qual as temperaturas podem alcançar a 90°C.

Os materiais UNS N08031 e UNS N06625 apresentaram comportamentos intermediários com vantagem para a liga 31 observada nos testes de imersão. O material UNS N06625 apresentou leve corrosão por frestas caracterizada pela ocorrência de pites com profundidade maior que 20 µm sob a região do dispositivo de frestas, o mesmo não foi observado para o material UNS N08031 nos testes de imersão, embora os ensaios eletroquímicos indiquem a possibilidade de ocorrência de corrosão por frestas em potenciais mais elevados.

Para a aplicação dos materiais UNS N08031 e UNS N06625, sobretudo da liga UNS N06625, em sistemas de contenção de areia expostos a reservatórios com temperatura de 90°C, se deverá empregar equipamentos que minimizem a geometria de frestas, de modo a mitigar o risco de redução da vida útil da instalação e de produção de areia devido à corrosão por frestas.

Referências bibliográficas

- (1) Pit, B., Huizinga, S. and Jong, J., “Materials and Corrosion Challenges with Raw Seawater Injection”, NACE Corrosion 2005, paper n° 05106.
- (2) Crum, J. R., Hazeldine, P. and Shoemaker, L.E., “Evaluation of Materials for Seawater Plate Exchanger Applications”, NACE Corrosion 2007, paper n° 07248.
- (3) Alves, H., Aberle, D. and Stenner, F., “Nickel Alloys and High Stainless Steels for Heat Exchangers and other Applications in Chlorinated Seawater”, NACE Corrosion 2007, paper n° 07215.
- (4) Norsok Standard M-001, rev. 4, “Materials Selection”, Agosto de 2004.
- (5) Norma ASTM G48 – 03, Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution.
- (6) Norma ASTM G-46 – 94, Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion.
- (7) F. J. Martin , E. J. Lemieux , W. E. O’Grady, and P. M. Natishan , “Long-term ennoblement studies on Ni-Cr-Mo alloys”, NACE Corrosion 2006, paper n° 06305.
- (8) Stein Olsen, Perry Nice, Manuel Maligas and John Vivic, “Material Selection for Wellhead Equipment Exposed to Chlorinated and Natural Seawater”, NACE Corrosion 1996, paper n° 80.

* * *