

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).

## **Utilização de sulfato como inibidor de corrosão localizada para a liga 800GN em água pressurizada em alta temperatura contendo íons cloreto**

**Fábio A. Mansur<sup>a</sup>, Mônica M. A. M. Schwartzman<sup>b</sup>, Pedro H. B. O. Nogueira<sup>c</sup>**

### **Abstract**

Alloy 800NG (nuclear grade) is used in nuclear steam generators (SG) as the tubing material for pressurized water reactors (PWR) because of its high corrosion resistance. The corrosion resistance is due to the protective character of the oxide film formed on the tube surface by contact with the high temperature pressurized water. Nevertheless, corrosion has been the major cause of tube failures in nuclear SGs. The increase in the corrosion resistance by the use of corrosion inhibitors is a technique especially used when the corrosive medium is fluid and works in closed loop. The inhibitors are chemical compounds that act added to the medium to maintain the integrity of the passive film. The objective of this study is to investigate the effect of addition of sulfate ions to inhibit the localized corrosion process of the alloy 800NG in solutions containing chloride ion concentrations of 1 mg/L, 5 mg/L and 10 mg/L, at temperatures of 80 °C and 250 °C. Electrochemical cyclic polarization tests were used to characterize the corrosion of the material. Optical microscopy analysis was used to evaluate the surface structure of the sample.

**Keywords:** alloy 800NG, chloride ions, inhibitor, localized corrosion

### **Resumo**

A liga 800GN (grau nuclear) é utilizada nas tubulações dos geradores de vapor de centrais nucleares devido à sua elevada resistência à corrosão. Este comportamento é devido à característica protetora do filme de óxido formado em sua superfície por meio do contato com a água pressurizada em elevada temperatura. Entretanto, a presença de íons cloreto no meio torna o material do tubo susceptível à corrosão localizada. O aumento da resistência à corrosão pelo uso de inibidores de corrosão é uma técnica utilizada especialmente quando o meio corrosivo é líquido e trabalha em circuito fechado. Os inibidores são compostos químicos que adicionados ao meio atuam na manutenção da integridade da película passiva. O objetivo deste trabalho é investigar o efeito da adição de íons sulfato como inibidor do processo de corrosão localizada da liga 800GN, em meios contendo concentrações de íons cloreto de 1 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L, à temperatura de 80 °C e 250 °C. Ensaio eletroquímico de polarização cíclica foram utilizados para caracterizar a corrosão do material. Análise por microscopia ótica foi utilizada para avaliar a estrutura superficial da amostra.

**Palavras-chave:** liga 800GN, íons cloreto, inibidor, corrosão localizada

<sup>a</sup> Mestrando, Engenheiro Metalurgista – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

<sup>b</sup> Doutora, Engenheira Química - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

<sup>c</sup> Estudante, Química Tecnológica – Universidade Federal de Minas Gerais

## Introdução

As centrais nucleares do tipo PWR são constituídas basicamente por três circuitos: primário, secundário e de água de refrigeração. A água do circuito primário é aquecida pelo calor decorrente da fissão do urânio no reator, chegando a uma temperatura de cerca de 320 °C. Em seguida, a água passa por tubulações até os geradores de vapor (GV), onde vaporiza a água do circuito secundário sem, no entanto, entrar em contato com ela. O vapor resultante vai acionar uma turbina, que movimentará o gerador elétrico e produzirá eletricidade. A seguir, o vapor é condensado em um condensador, que é refrigerado com água proveniente de cursos d'água, sendo este condensado bombeado de volta para os GVs. O circuito de água que refrigera o condensador é denominado sistema de refrigeração (1).

A química da água do circuito secundário é uma questão crítica quando se avalia a corrosão e o grau de envelhecimento dos tubos dos geradores de vapor de usinas nucleares (2). Durante a operação, o controle da química da água é feito pela manutenção de parâmetros químicos como a quantidade de produtos de corrosão, a presença de impurezas (especialmente íons sulfato e cloreto) e a concentração de agentes oxidantes dentro de limites previamente estabelecidos. Porém, podem ocorrer, incidentalmente, alguns vazamentos da água de refrigeração do condensador de usinas nucleares ocasionando a penetração de oxigênio e a contaminação da água do circuito secundário com impurezas (3).

A utilização de íons sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) tem sido empregada para mitigar formas de corrosão localizada, dentre elas corrosão por pite, corrosão por frestas e corrosão sob tensão em aços inoxidáveis e em ligas de níquel, presentes em meios contendo íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ). Entretanto,  $\text{SO}_4^{2-}$  pode também promover corrosão localizada sob algumas condições ambientais, em alguns aços inoxidáveis e ligas de níquel. Portanto, é possível para o íon  $\text{SO}_4^{2-}$  atuar como um inibidor ou como um acelerador da corrosão localizada, dependendo da concentração de sulfato e cloreto (ou a sua proporção) em solução, assim como da composição da liga (4).

Neste trabalho foi investigado o efeito da presença de íons cloreto (concentrações de 1 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L) e sulfato (concentrações de 5 mg/L e 20 mg/L) no comportamento à corrosão de tubo de liga 800NG a 80 °C e 250 °C, utilizando célula eletroquímica a três eletrodos e uma autoclave. Técnica eletroquímica de polarização anódica potenciodinâmica cíclica e análise por microscopia ótica foram os métodos de análise empregados.

## Metodologia

- Material

Amostras de 16 mm de diâmetro, 19 mm de altura e 0,9 mm de espessura (Figura 1) foram cortadas de um tubo de liga 800GN. A tabela 1 apresenta a composição química do material recebido.

**Tabela 1 - Composição química do tubo de liga 800 (% em massa)**

C	Si	Mn	S	Cr	Ni	Ti	Cu	Al	Fe
0,012	0,42	0,57	0,001	20,47	32,46	0,53	0,017	0,31	45,0



**Figura 1 - Tubo de liga 800GN utilizado nos ensaios eletroquímicos**

- Solução de ensaio

O estudo da corrosão localizada da liga 800GN foi conduzido em meio similar ao de operação do circuito secundário dos GVs uma central nuclear PWR e em condições anômalas de operação, considerando a contaminação não intencional do sistema de refrigeração com íons cloreto.

Os ensaios eletroquímicos realizados foram conduzidos em uma solução de água deionizada contendo níveis de sódio e de oxigênio dissolvido menores que 5  $\mu\text{g/L}$  (ppb). A remoção do oxigênio foi realizada por borbulhamento de gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) no meio durante 48 h. Após a concentração de oxigênio dissolvido atingir o nível adequado, o pH da solução foi ajustado para valores entre 9,8 e 10,2 à temperatura ambiente, por meio de borbulhamento com gás amônia. Temperaturas de  $80 \pm 1$  °C e  $250 \pm 0,1$  °C e pressões de 0,12 MPa e 5 MPa foram utilizadas nos ensaios.

As soluções empregadas nos ensaios foram preparadas através da adição de NaCl e  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (reagentes de grau analítico) em água deionizada pura. Foram adicionados teores de 1 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L de cloreto ao meio, sob a forma de HCl, e 5 mg/L e 20 mg/L de sulfato, sob a forma de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (ambos reagentes de grau analítico).

- Equipamentos utilizados à temperatura de 80 °C

Os ensaios eletroquímicos à temperatura de  $80 \pm 1$  °C foram realizados numa célula eletroquímica convencional, utilizando-se uma manta aquecedora, um variador de tensão para controlar o aquecimento da manta e um controlador de temperatura para visualização da temperatura do meio (Figura 2).

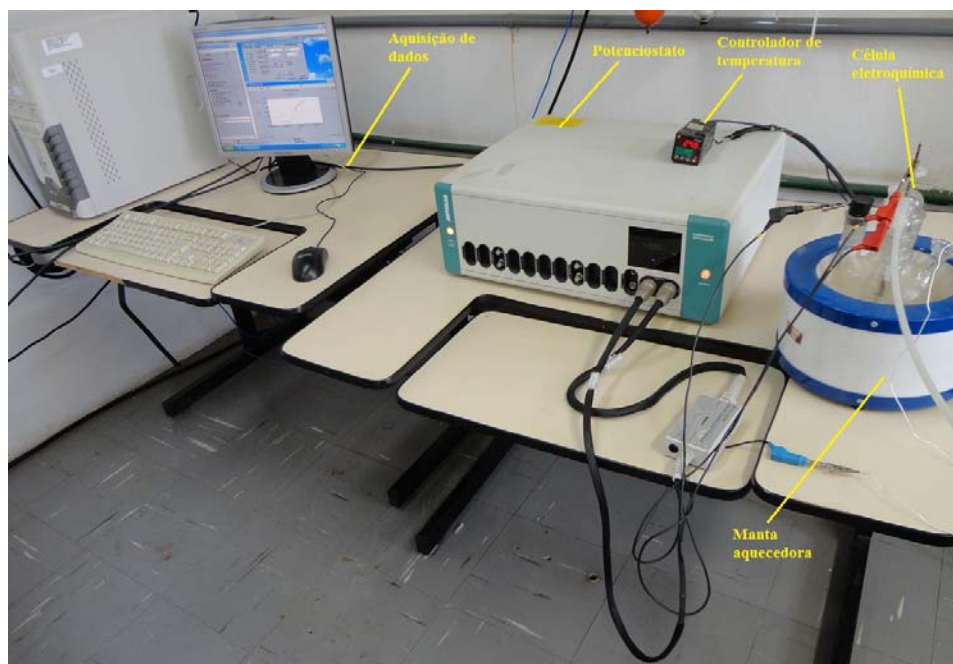


Figura 2 - Montagem utilizada para a realização dos ensaios eletroquímicos à 80 °C

Utilizou-se, para os ensaios eletroquímicos, um potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT12. A montagem foi de três eletrodos, empregando-se um eletrodo de referência de prata/cloreto de prata saturado com KCl (Ag/AgCl saturado com KCl), um eletrodo auxiliar de platina e a amostra do tubo de liga 800GN como eletrodo de trabalho (Figura 3). A amostra de liga 800GN foi isolada com politetrafluoroetileno (PTFE).

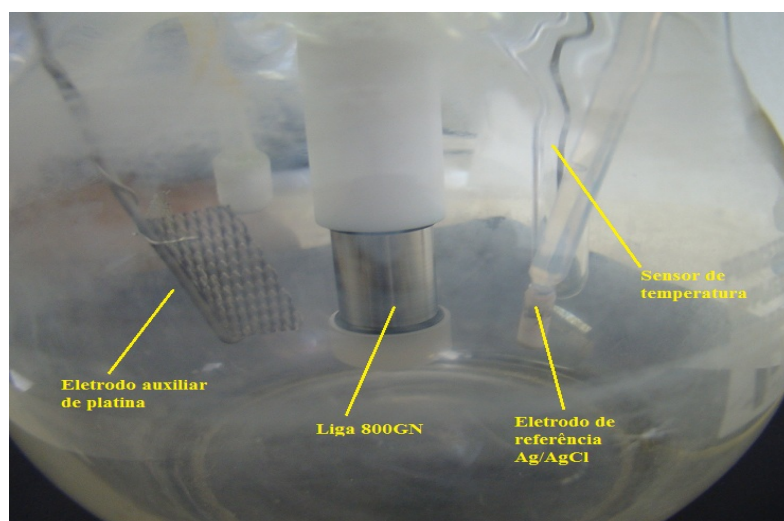
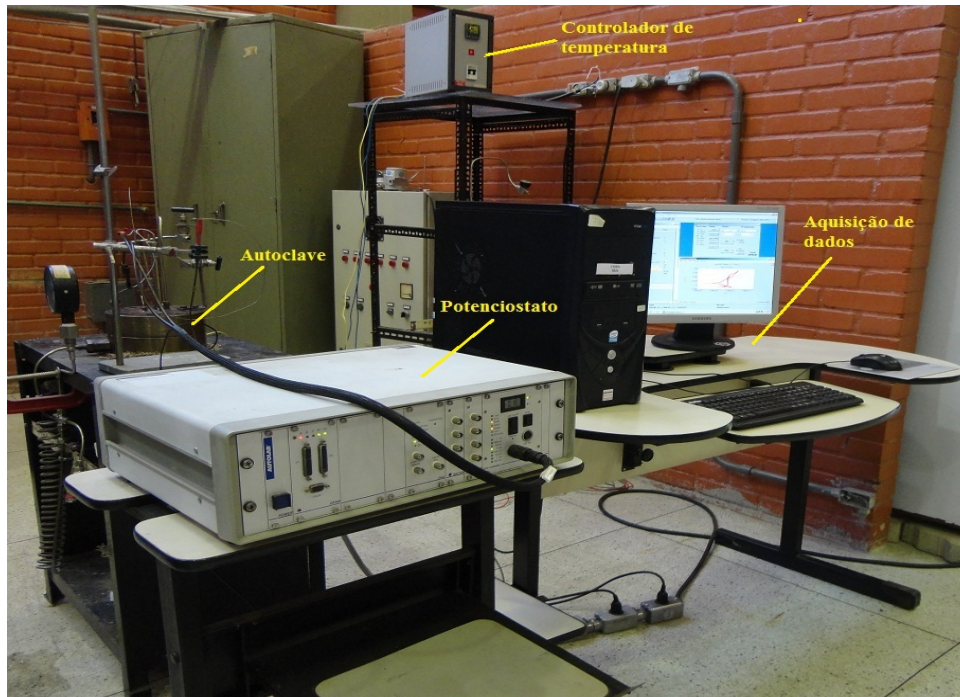


Figura 3 - Montagem do eletrodo de trabalho na célula eletroquímica

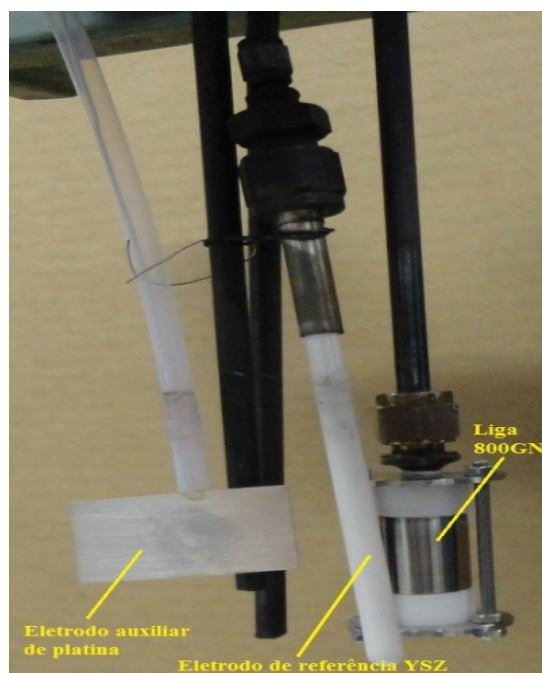
- Equipamentos utilizados à temperatura de 250 °C

Os ensaios eletroquímicos à temperatura de  $250 \pm 0,1$  °C foram realizados numa autoclave estática de aço inoxidável 316L de 1,8 L de capacidade máxima, equipada com válvula de segurança, manômetro e um controlador de temperatura (figura 4).



**Figura 4 - Montagem utilizada para a realização dos ensaios eletroquímicos a 250 °C**

Utilizou-se, para os ensaios eletroquímicos a 250 °C, o potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT20. A montagem foi de três eletrodos, empregando um eletrodo de referência para alta temperatura estabilizado com um filme de zircônia (YSZ - Yttrium Stabilized Zirconia) com preenchimento de Ni/NiO e uma placa de platina como eletrodo auxiliar (Figura 5). A amostra de liga 800GN foi isolada por meio de anéis de politetrafluoroetileno (PTFE).



**Figura 5 - Montagem dos eletrodos na autoclave**

- Técnica eletroquímica empregada

#### Polarização Anódica Potenciodinâmica Cíclica

Com esta técnica foi possível determinar os potenciais de pite ( $E_{\text{pite}}$ ) e de proteção ( $E_{\text{prot}}$ ) e avaliar a susceptibilidade à corrosão por pite de ligas metálicas. O  $E_{\text{prot}}$  indica o potencial abaixo do qual nenhum pite se forma e os pites já existentes serão passivados. Neste estudo, o  $E_{\text{pite}}$  foi considerado como o potencial acima do qual os pites nucleiam e se desenvolvem e o seu valor é aquele no qual a densidade de corrente aumenta acentuadamente, praticamente sem variação de potencial. O  $E_{\text{prot}}$  foi obtido diretamente das curvas de polarização anódica cíclica, no ponto de interseção das varreduras direta e inversa. A susceptibilidade ao pite foi relacionada com a área do laço formado pela curva de polarização cíclica: quanto maior a área do laço mais susceptível à corrosão por pite será o material. Durante o ensaio, o potencial foi varrido a uma taxa de 0,167 mV/s de -20 mV até um potencial que correspondia a uma densidade de corrente de 1 mA/cm<sup>2</sup>, e então a varredura foi invertida, até que o  $E_{\text{prot}}$  fosse identificado.

#### Resultados e discussão

- Temperatura de 80 °C

Na Figura 6 são mostradas as curvas de polarização anódica potenciodinâmica cíclica da liga 800GN obtidas em meio similar ao do circuito secundário de usinas PWR, sem adição e com adição de íons cloreto em concentrações de 1 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L, à temperatura de 80 °C. Pode-se observar que o formato da curva foi similar em todas as condições estudadas e que o material já se encontrava no estado passivo no potencial de corrosão, após um leve aumento na densidade de corrente. No processo de repassivação (varredura inversa), verificou-se que a presença de íons cloreto influenciou significativamente no comportamento.

Em concentrações de cloreto de até 5 mg/L, não foi observado um laço entre as varreduras direta e inversa, indicando que a repassivação foi imediata. Em meio de concentração de cloreto de 10 mg/L, a liga 800GN apresentou tendência à corrosão localizada por pite, evidenciado pelo laço entre as varreduras direta e inversa.

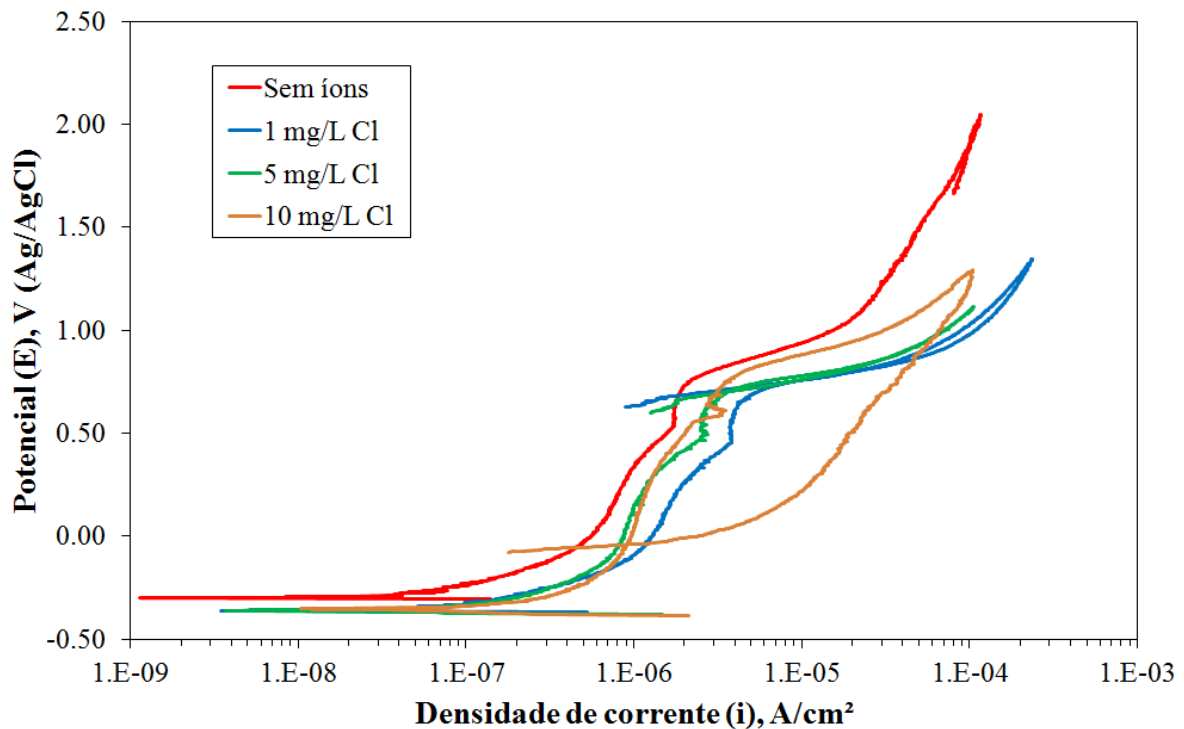
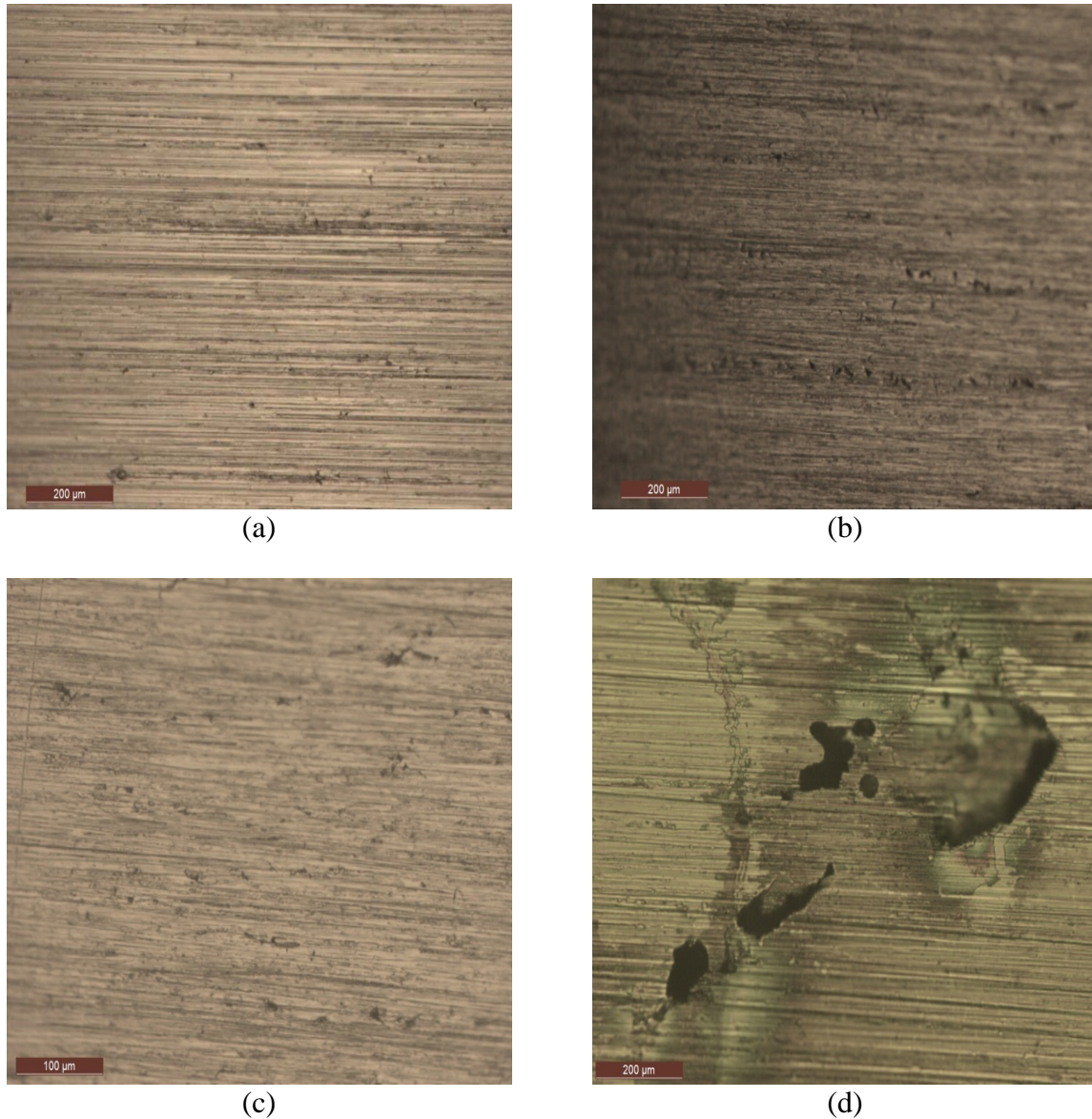


Figura 6 - Curvas de polarização anódica potenciodinâmica cíclica da liga 800GN obtidas em meios contendo 1 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L de Cl e em meio similar ao do circuito secundário PWR, à temperatura de 80 °C.

Após os ensaios de polarização cíclica, foram realizadas análises por microscopia óptica das superfícies das amostras. Na Figura 7 são apresentadas as micrografias representativas obtidas após os ensaios em meio similar ao do circuito secundário de um reator PWR e em meio contendo 1 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L de íons cloreto, respectivamente.

Pelas micrografias obtidas após os ensaios de polarização anódica cíclica, pode-se inferir que a iniciação do processo de corrosão localizada na liga 800GN ocorreu no meio contendo concentrações de íons cloreto de 10 mg/L.

Nas outras condições avaliadas (em meio similar ao do circuito secundário de um reator PWR e em meio contendo 1 mg/L e 5 mg/L de íons cloreto), o material foi imune ao ataque localizado, não tendo sido observada corrosão por pite.



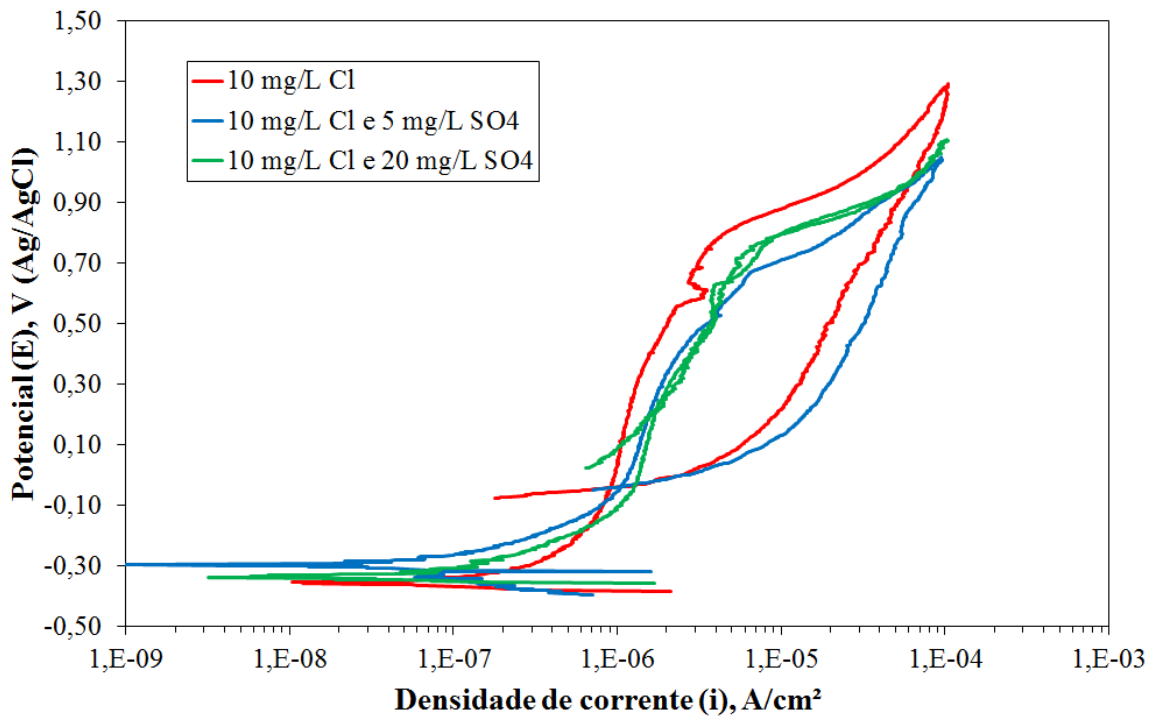
**Figura 7 - Micrografias da liga 800GN obtidas após ensaio em meio similar ao do circuito secundário PWR (a) e em meios contendo 1 mg/L (b), 5 mg/L (c) e 10 mg/L (d) de  $\text{Cl}^-$ , à temperatura de 80 °C.**

Em meio contendo 10 mg/L de cloreto, foram adicionados teores de sulfato de 5mg/L e 20 mg/L, no intuito de verificar a propriedade inibidora do sulfato neste meio, no qual a liga 800GN se mostrou menos resistente à corrosão por pite.

Na Figura 8 são mostradas as curvas de polarização anódica potenciodinâmica cíclica da liga 800GN obtidas em meios contendo 10 mg/L de  $\text{Cl}^-$ , 10 mg/L de  $\text{Cl}^-$  e 5 mg/L de  $\text{SO}_4^{2-}$  e 10 mg/L de  $\text{Cl}^-$  e 20 mg/L de  $\text{SO}_4^{2-}$ , à temperatura de 80 °C.

Observou-se que uma adição de sulfato de 5 mg/L não apresentou uma melhora significativa no processo de repassivação. Entretanto, com uma adição de sulfato de 20 mg/L, verificou-se uma melhora na repassivação, indicado pelas varreduras direta e inversa sobrepostas.





**Figura 8 -** Curvas de polarização anódica potenciodinâmica cíclica da liga 800GN obtidas em meios contendo 10 mg/L de Cl<sup>-</sup>, 10 mg/L de Cl<sup>-</sup> e 5 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e 10 mg/L de Cl<sup>-</sup> e 20 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, à temperatura de 80 °C.

Na Tabela 2 são apresentados alguns parâmetros obtidos nas curvas de polarização anódica cíclica, à temperatura de 80 °C. Nota-se que os potenciais de corrosão ( $E_{corr}$ ) são próximos, e a densidade de corrente de passivação ( $i_{pass}$ ) foi considerada da mesma ordem de grandeza em todas as condições estudadas.

No meio em que foi adicionado 20 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, nota-se uma melhora significativa no potencial de pite e potencial de proteção em relação ao meio em que foi adicionado 5 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, evidenciando o efeito benéfico do inibidor nesta concentração.

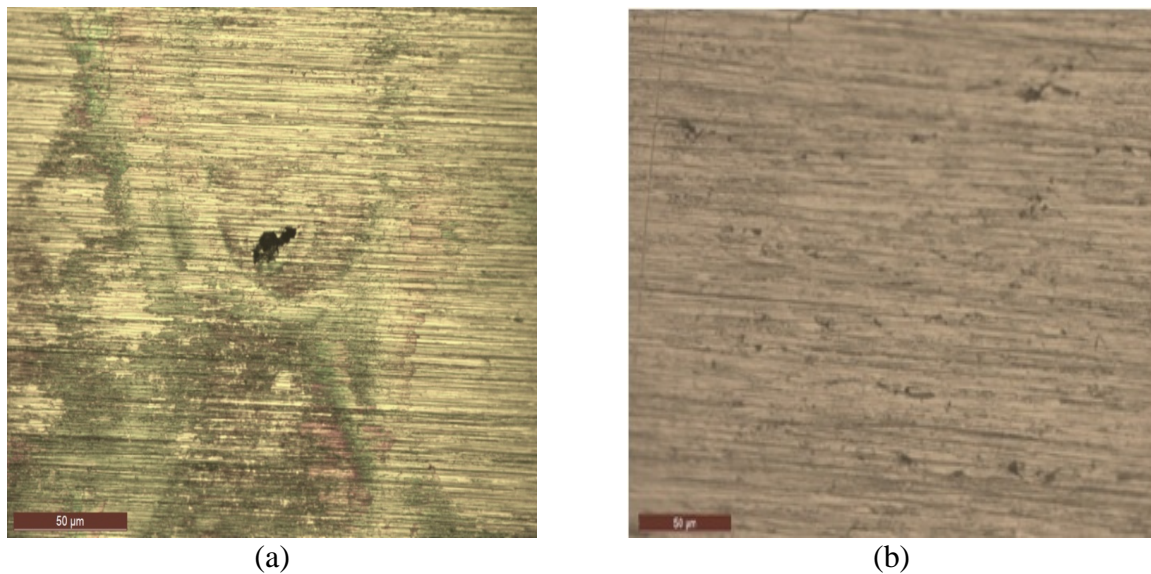
**Tabela 2 -** Parâmetros eletroquímicos da liga 800GN obtidos das curvas de

polarização

cíclica a 80 °C

Condição	$E_{corr}$ , mV (Ag/AgCl)	$i_{pass}$ , $\mu A/cm^2$	$E_{pit}$ , mV (Ag/AgCl)	$E_{prot}$ , mV (Ag/AgCl)
Meio PWR	- 302	0,83	-	-
1 mg/L Cl <sup>-</sup>	- 363	1,66	601	787
5 mg/L Cl <sup>-</sup>	- 363	1,16	614	684
10 mg/L Cl <sup>-</sup>	- 352	1,22	670	- 72
10mg/L Cl <sup>-</sup> + 5 mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	- 297	2,01	508	- 49
10mg/L Cl <sup>-</sup> + 20 mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	- 320	1,52	612	778

Na Figura 9 são apresentadas as micrografias representativas obtidas em meios contendo 10 mg/L de Cl<sup>-</sup> e 5 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e 10 mg/L de Cl<sup>-</sup> e 20 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, respectivamente. Na segunda condição, não foi observada corrosão por pite.

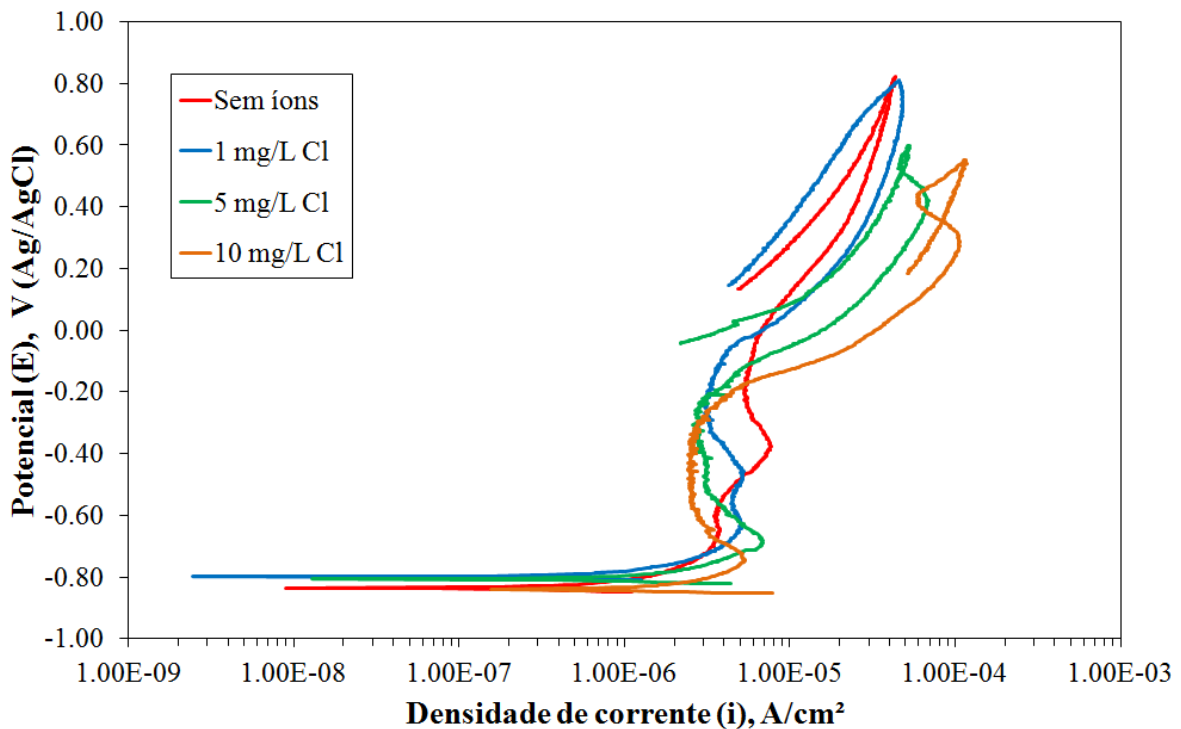


**Figura 9 - Micrografias da liga 800GN obtidas após ensaio em meios contendo 10 mg/L de Cl<sup>-</sup> e 5 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (a) e 10 mg/L de Cl<sup>-</sup> e 20 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (b), à temperatura de 80 °C.**

- Temperatura de 250 °C

Na Figura 10 são mostradas as curvas de polarização anódica potenciodinâmica cíclica da liga 800GN obtidas em meio similar ao do circuito secundário de usinas PWR, sem adição e com adição de íons cloreto em concentrações de 1 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L, à temperatura de 250 °C.

As curvas apresentaram trecho passivo e potenciais de pite bem definidos. Observou-se a formação de histerese positiva após a reversão da varredura anódica, indicando a susceptibilidade à corrosão localizada da liga 800GN nas concentrações de 5 mg/L e 10 mg/L de íons cloreto.

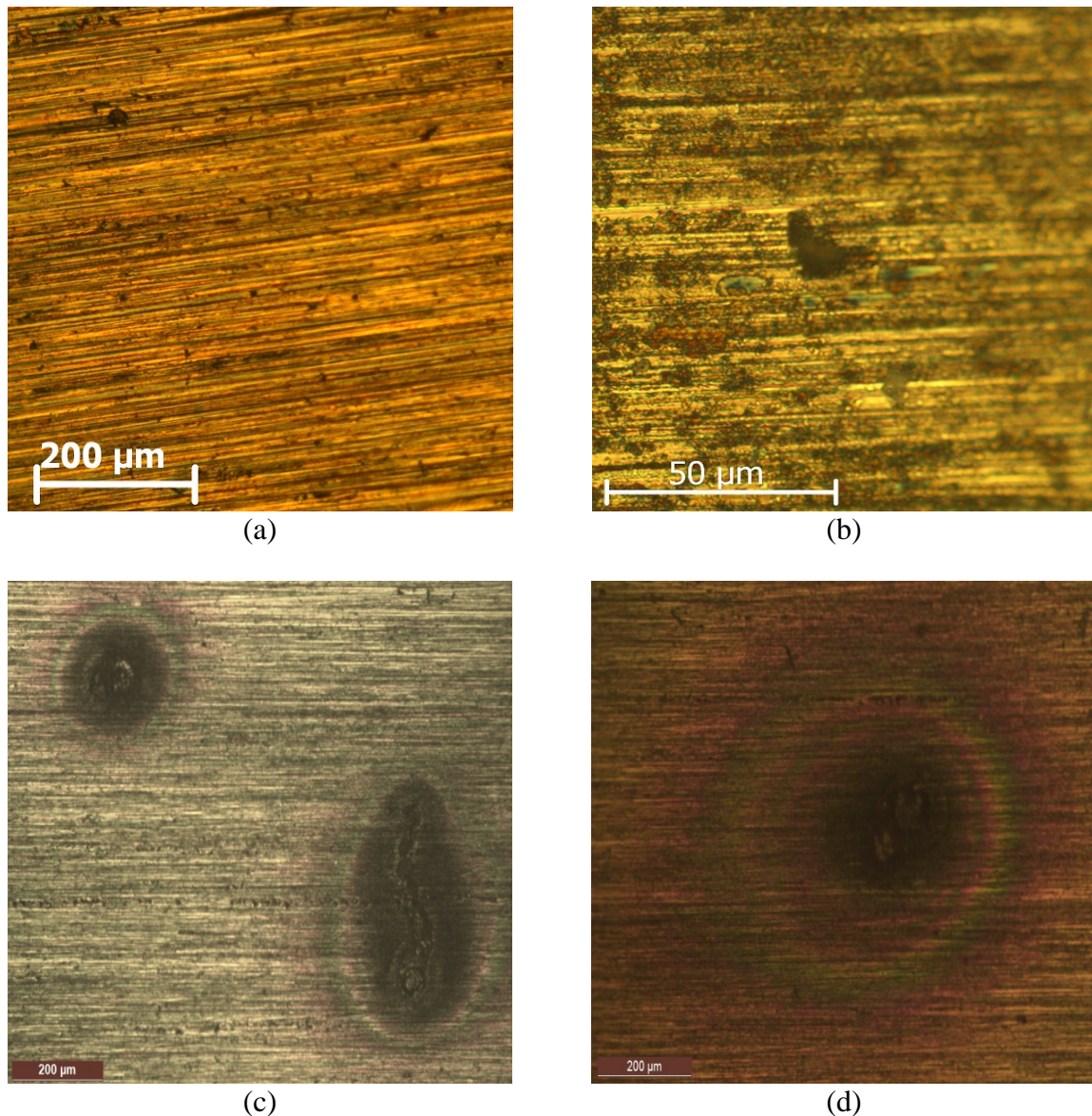


**Figura 10 - Curvas de polarização anódica potenciodinâmica cíclica da liga 800GN obtidas em meios contendo 1 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L de Cl<sup>-</sup> e em meio similar ao do circuito secundário PWR, à temperatura de 250 °C.**

Na Figura 11 são apresentadas as micrografias representativas obtidas após os ensaios em meio similar ao do circuito secundário de um reator PWR e em meio contendo 1 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L de íons cloreto, respectivamente.

Em meio similar ao do circuito secundário de um reator PWR, o material foi imune ao ataque localizado, não tendo sido observada corrosão por pite. Pelas micrografias obtidas após os ensaios de polarização anódica cíclica, pode-se inferir que a iniciação do processo de corrosão localizada na liga 800GN ocorreu no meio contendo concentração de íons cloreto de 1 mg/L.

Nos meios contendo 5 mg/L e 10 mg/L de Cl<sup>-</sup>, pites surgiram em maior número e com um formato característico, apresentando-se como cavidades de forma circular, sendo visíveis facilmente já em menores ampliações do microscópio.



**Figura 11 - Micrografias da liga 800GN obtidas após ensaio em meio similar ao do circuito secundário PWR (a) e em meios contendo 1 mg/L (b), 5 mg/L (c) e 10 mg/L (d) de  $\text{Cl}^-$ , à temperatura de 250 °C.**

O efeito da adição de sulfato ao meio PWR contendo íons cloreto foi avaliado em meio contendo 10 mg/L de cloreto, onde foi observada a maior intensidade do ataque localizado. Para tanto, foram adicionados teores de sulfato de 5mg/L e 20 mg/L.

Na Figura 12 são mostradas as curvas de polarização anódica potenciodinâmica cíclica da liga 800GN obtidas em meios contendo 10 mg/L de  $\text{Cl}^-$ , e a mesma concentração de cloreto com adição de 5 mg/L de  $\text{SO}_4^{2-}$  e 20 mg/L de  $\text{SO}_4^{2-}$ , à temperatura de 250 °C.

Nas curvas de polarização, pode-se observar que tanto na adição de 5 mg/L quanto na de 20 mg/L de sulfato ocorreu uma melhora no processo de repassivação, o que pode ser verificado pelas características dos laços das histereses positivas, que foram menores em relação ao laço obtido em meio contendo apenas cloreto.

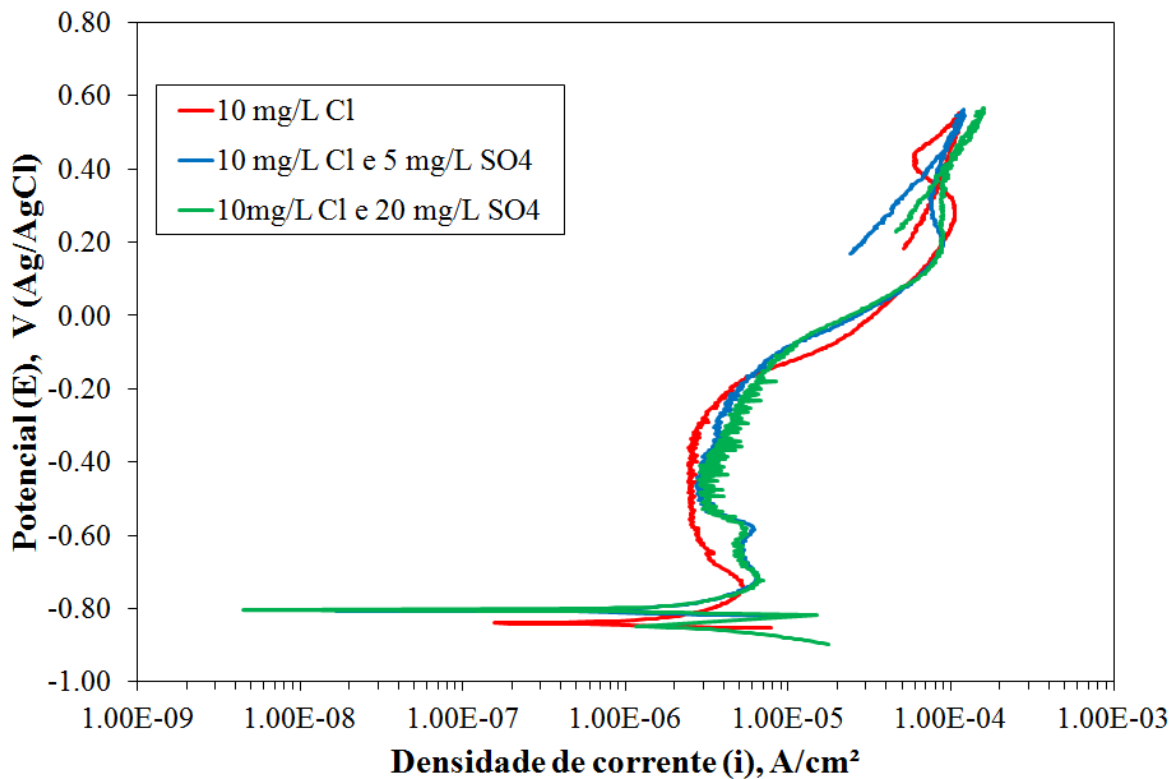


Figura 12 - Curvas de polarização anódica potenciodinâmica cíclica da liga 800GN obtidas em meios contendo 10 mg/L de Cl<sup>-</sup>, 10 mg/L de Cl<sup>-</sup> e 5 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e 10 mg/L de Cl<sup>-</sup> e 20 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, à temperatura de 250 °C.

Na Tabela 3 são apresentados parâmetros obtidos nas curvas de polarização anódica cíclica, à temperatura de 250 °C. Os potenciais de corrosão ( $E_{\text{corr}}$ ) apresentaram pouca variação, e a densidade de corrente de passivação ( $i_{\text{pass}}$ ) foi da mesma ordem de grandeza em todas as condições estudadas.

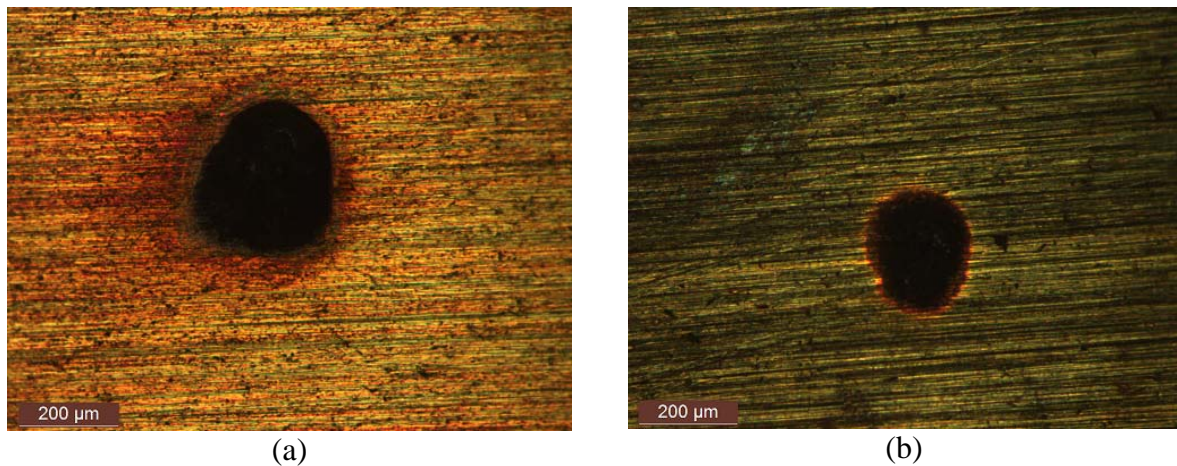
Tabela 3 - Parâmetros eletroquímicos da liga 800GN obtidos das curvas de

polarização

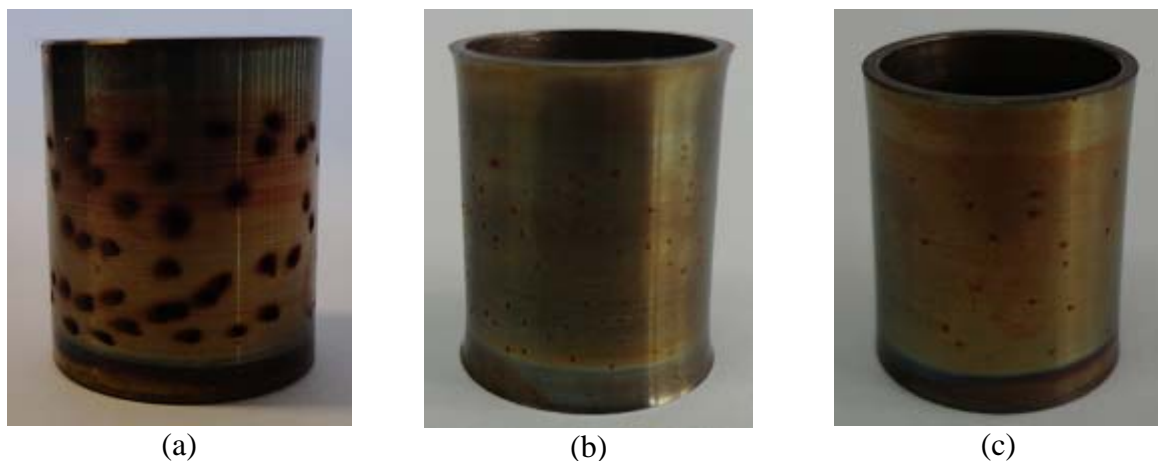
cíclica a 250 °C

Condição	$E_{\text{corr}}$ , mV (Ag/AgCl)	$i_{\text{pass}}$ , $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	$E_{\text{pit}}$ , mV (Ag/AgCl)	$E_{\text{prot}}$ , mV (Ag/AgCl)
Meio PWR	-836	5,38	-	-
1 mg/L Cl <sup>-</sup>	-798	3,09	-	-
5 mg/L Cl <sup>-</sup>	-807	2,98	-216	512
10 mg/L Cl <sup>-</sup>	-841	2,56	-175	355
10mg/L Cl <sup>-</sup> + 5 mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-802	2,83	-146	469
10mg/L Cl <sup>-</sup> + 20 mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-804	3,47	-139	406

Na Figura 13 são apresentadas as micrografias representativas obtidas após os ensaios em meio PWR contendo 10 mg/L de Cl<sup>-</sup>, com adição de 5 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e 20 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, à temperatura de 250 °C, e na Figura 14 são apresentadas as fotografias obtidas após os ensaios realizados nesta mesma condição.



**Figura 13 - Micrografias da liga 800GN obtidas após ensaio em meios contendo 10 mg/L de  $\text{Cl}^-$  e 5 mg/L de  $\text{SO}_4^{2-}$  (a) e 10 mg/L de  $\text{Cl}^-$  e 20 mg/L de  $\text{SO}_4^{2-}$  (b), à temperatura de 250 °C.**



**Figura 14 - Fotografias da liga 800GN obtidas após ensaio em meios contendo 10 mg/L de  $\text{Cl}^-$  (a), 10 mg/L de  $\text{Cl}^-$  e 5 mg/L de  $\text{SO}_4^{2-}$  (b) e 10 mg/L de  $\text{Cl}^-$  e 20 mg/L de  $\text{SO}_4^{2-}$  (c), à temperatura de 250 °C.**

Verifica-se que com a adição de sulfato ocorreu uma diminuição significativa no diâmetro e no número dos pites formados na superfície do material. Entretanto, sugere-se que a quantidade de sulfato adicionado não foi suficiente para inibir o processo de corrosão por pite.

---

## Conclusões

---

Neste trabalho foi avaliada a influência de inibidor de corrosão à resistência à corrosão localizada por pite da liga 800GN em meios simulando a operação do circuito secundário de um reator nuclear com contaminação de íons cloreto. Foi observado que:

- Em meios contendo 1 mg/L e 5 mg/L de íons cloreto e em meio similar ao do circuito secundário PWR, a liga 800GN foi imune ao ataque localizado à temperatura de 80 °C;
- O sulfato, em concentração de 20mg/L, teve um efeito benéfico, inibindo a corrosão por pite em meio contendo 10 mg/L de cloreto, à temperatura de 80 °C;
- A elevação da temperatura do eletrólito de 80 °C para 250 °C provocou uma redução significativa no potencial de corrosão e na dimensão da região de passivação;
- A adição de 5 mg/L e 20 mg/L de sulfato em meio contendo 10 mg/L de cloreto, a 250 °C, proporcionou uma redução do diâmetro e do número dos pites formados na superfície do material.

---

## Referências bibliográficas

---

- (1) ELETRONUCLEAR – Eletrobrás Termonuclear S.A. **Estudo de Impacto Ambiental da Unidade 3 da Central Nuclear Almirante Alberto Álvaro**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em [http://www.eletronuclear.gov.br/hotsites/eia/v01\\_02\\_caracterizacao.html](http://www.eletronuclear.gov.br/hotsites/eia/v01_02_caracterizacao.html). Acesso em: 13 nov. 2013.
- (2) SCOTT, P., COMBRADE, P. **ASM Handbook, Vol. 13C: Corrosion**, ASM International, p. 362–385, 2006.
- (3) LUCAN, D. Degradations of Incoloy 800 Steam Generator Tubing. **Institute for Nuclear Research**, Pitesti, Romania, 2011.
- (4) ILEVBARÉ, G. O. Effect of Sulfate on the Passive and Crevice Corrosion Properties of Alloy 22 in 4 M Sodium Chloride. **Corrosion**, v. 62, issue 4, p. 340-356, 2006.

---

## Agradecimentos

---

O autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

\* \* \*