



AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À CORROSÃO SOB TENSÃO DE UM AÇO AISI 304 LAMINADO A QUENTE EM MEIOS CONTENDO CLORETOS¹

Thiago Martins Teixeira Braga²
Luiz Cláudio Cândido³

Resumo

O fenômeno corrosão sob tensão (CST), por ser uma corrosão localizada, não apresenta sinais claros e evidentes como numa corrosão generalizada podendo gerar drásticas conseqüências. Este fato tem motivado estudos sobre a CST. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de um aço do tipo AISI 304 em ensaios de CST em diferentes meios cloretados. Os meios corrosivos adotados foram HCl 1M ($\text{pH} \cong 0,00$) a temperatura ambiente e MgCl_2 42% (massa) a 143°C. Observou-se que os corpos de prova (CPs) ensaiados em MgCl_2 romperam mais rápido que os CPs ensaiados em HCl. Observou-se também que quanto maior a carga menor o tempo necessário para o desenvolvimento da CST.

Palavras-chave: Corrosão sob tensão; Aço inoxidável; Cloretos.

EVALUATION OF THE SUSCEPTIBILITY TO STRESS CORROSION CRACKING OF AISI 304, STEEL HOT-ROLLED IN CHLORIDE-CONTAINING ENVIRONMENTS

Abstract

The phenomenon of stress corrosion cracking (CST), to be a localized corrosion, no signs clear and evident as a general corrosion can generate drastic consequences. This fact has motivated studies on the SCC. This study aimed to evaluate the behavior of steel type AISI 304 tests in the SCC in different ways chlorinated. The corrosive environments used were 1M HCl at room temperature and MgCl_2 42% to 143 °C. It was observed that the specimens tested MgCl_2 fractured faster than the PCs tested in HCl. It was also observed that the higher the load the less time required for the development of SCC.

Key words: Stress corrosion cracking; Stainless steel; Chlorides.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Mestrando em Engenharia de Materiais REDEMAT/UFOP

³ Dr. Engenheiro Metalurgista DEMET/REDEMAT/UFOP



1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis geralmente apresentam alta resistência à corrosão uniforme em diversos meios. Entretanto, quando a película passivante, responsável pela proteção da liga, é rompida e não regenerada, inicia-se um processo corrosivo. Este tipo de degradação ocorre em condições de corrosão localizada (por pites, por corrosão sob tensão e de forma intergranular). É comum a exposição destes materiais a meios agressivos aliados a solicitações mecânicas, o que pode levar a uma fratura prematura e imprevisível, devido ao fenômeno de CST.

A CST é um fenômeno de corrosão localizada que ocorre quando uma liga passível está sujeita a uma tensão trativa relativamente baixa (inferior ao limite de escoamento) exposta a um meio corrosivo específico durante um determinado tempo.⁽¹⁾ Para que ocorra a CST devem existir três condições simultaneamente. A liga suscetível, um ambiente agressivo específico e alguma componente de tensão trativa, seja ela residual ou aplicada externamente. Ainda sim é necessário um tempo para que o fenômeno se desenvolva.

Independente do mecanismo de propagação de trinca sempre ocorrerá uma concentração de tensão na ponta (vértice) da trinca, o que acarretará em certa deformação plástica dessa região. Isso acentuará a ação corrosiva tendo como consequência a fratura mecânica do material.⁽²⁾

Três estágios dividem o processo de CST: estágio de indução, que é definido como sendo o tempo de exposição no meio corrosivo antes da nucleação da primeira trinca, estágios de iniciação ou nucleação de trinca e de propagação até a fratura do material.⁽³⁾

A iniciação e propagação de uma trinca podem surgir a partir de tensões aplicadas externamente ao material ou a partir de tensões residuais geradas por tratamentos térmicos, soldagem e conformação mecânica, associadas a um meio corrosivo. A corrosão por pite e a corrosão intergranular causam uma descontinuidade da superfície do material, podendo provocar também o processo de iniciação de trinca.⁽⁴⁾

O trincamento por CST em ambientes contendo cloretos foi inicialmente notada em aços inoxidáveis. Por isso estes materiais recebem uma maior atenção em pesquisas e desenvolvimento. Ensaios de corrosão utilizando soluções de cloreto de magnésio como ambiente corrosivo foram os primeiros a serem adotados. Esta condição é utilizada por ser altamente severa (42% MgCl₂, 143°C),⁽⁵⁾ e normatizada. Posteriormente, outros meios foram sendo testados, entre eles o HCl concentrado (pH \cong 0,00), que promove o desenvolvimento do fenômeno de CST no material na temperatura ambiente.

A partir do ensaio de CST com carga constante é possível obter a tensão que um material pode suportar durante o serviço sem sofrer CST, propor um intervalo de inspeção para a confirmação de que o material não sofrerá trincamento por CST, ou ainda avaliar a influência metalúrgica no material e mudanças de meio ambiente na CST.^(5,6) Normalmente, este ensaio é realizado submetendo-se CPs a diferentes níveis de carga medindo-se o tempo de falha do material em determinado ambiente. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o comportamento do aço AISI 304, em ensaios de carga constante em meios cloretados (HCl com pH aproximadamente 0,00 à temperatura ambiente e MgCl₂ 42% em massa a 143°C).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Tabela 1 apresenta a composição química do material analisado. Verifica-se que o aço é um do tipo inoxidável austenítico (18/8).

Tabela 1 – Composição química (% massa) do aço AISI 304 analisado

| Cr | Ni | Mn | Si | C | P | S | Mo | Cu | Mg | Fe |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 18,284 | 8,377 | 1,319 | 0,275 | 0,055 | 0,027 | 0,005 | 0,030 | 0,097 | 0,016 | 71,330 |

Além da caracterização química e metalográfica da liga foram feitos ensaios mecânicos de tração e ensaios de polarização potenciodinâmica nos meios HCl 1M ($\text{pH} \cong 0,00$) e NaCl 3,5% (massa).

Os ensaios de carga constante foram realizados nos meios HCl 1M ($\text{pH} \cong 0,00$) e MgCl_2 42% (massa) à temperatura de ebulição (143°). O esquema de como é montado o ensaio está representado na Figura 1 e na Figura 2 tem-se o equipamento utilizado.



Figura 1 – Desenho esquemático do ensaio de CST com carga constante.

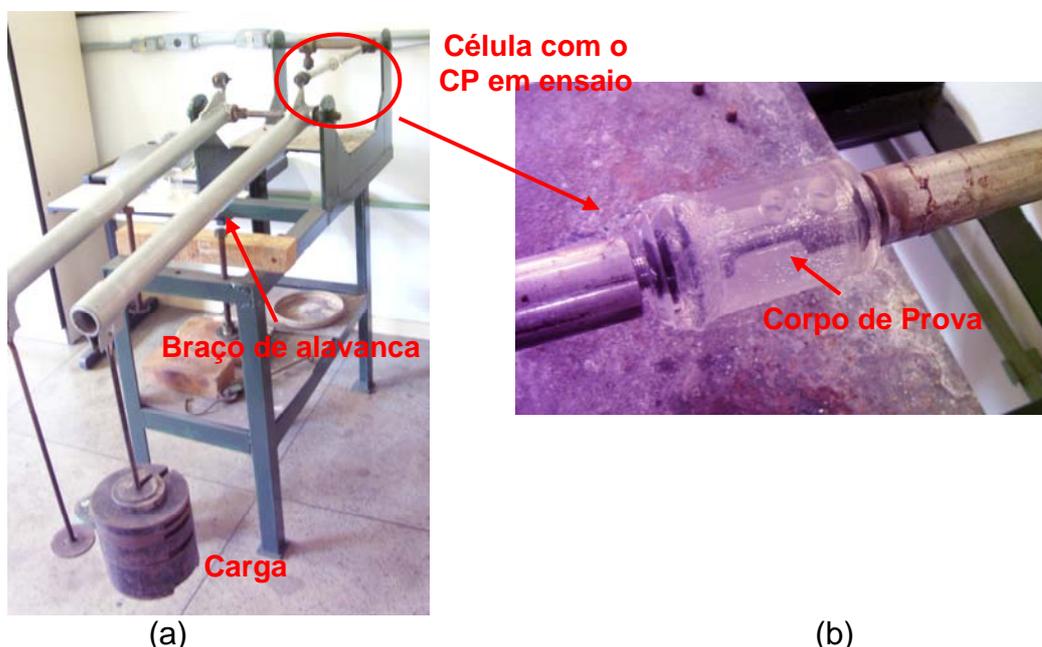


Figura 2 – (a) Equipamento utilizado para os ensaios de CST; (b) CP dentro da célula imerso em HCl 1M ($\text{pH} \cong 0,00$).

Na Figura 3 é representado o esquema de como foi montado o ensaio utilizando solução de MgCl_2 em ebulição.

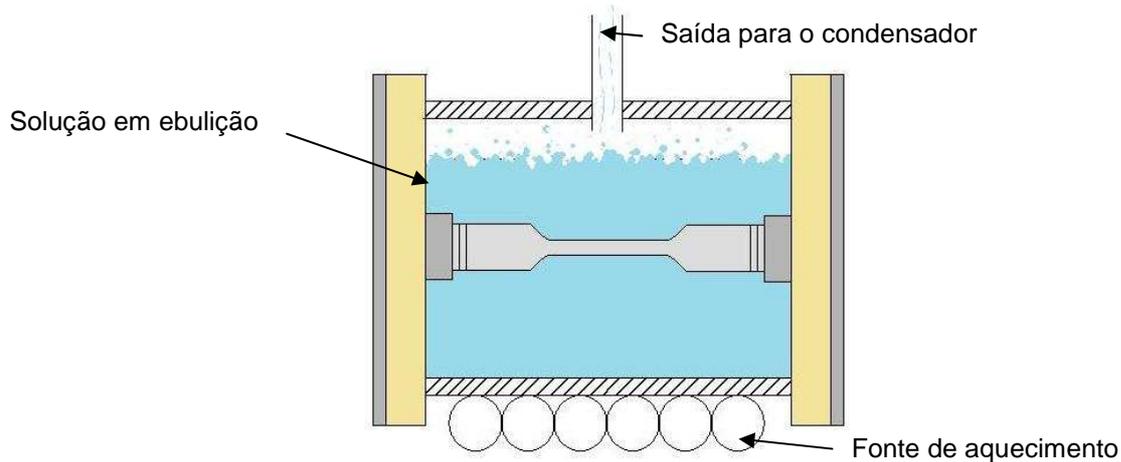
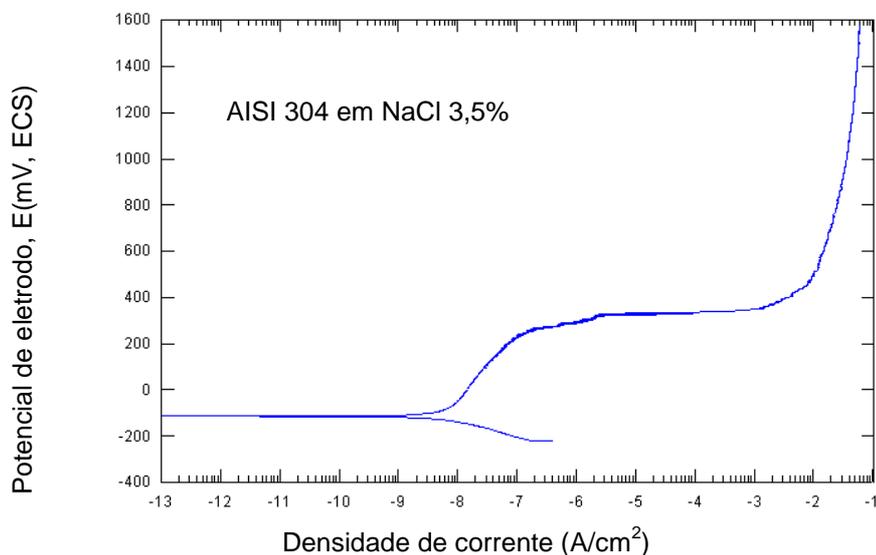


Figura 3 – Desenho esquemático da Célula para ensaio de CST à quente.

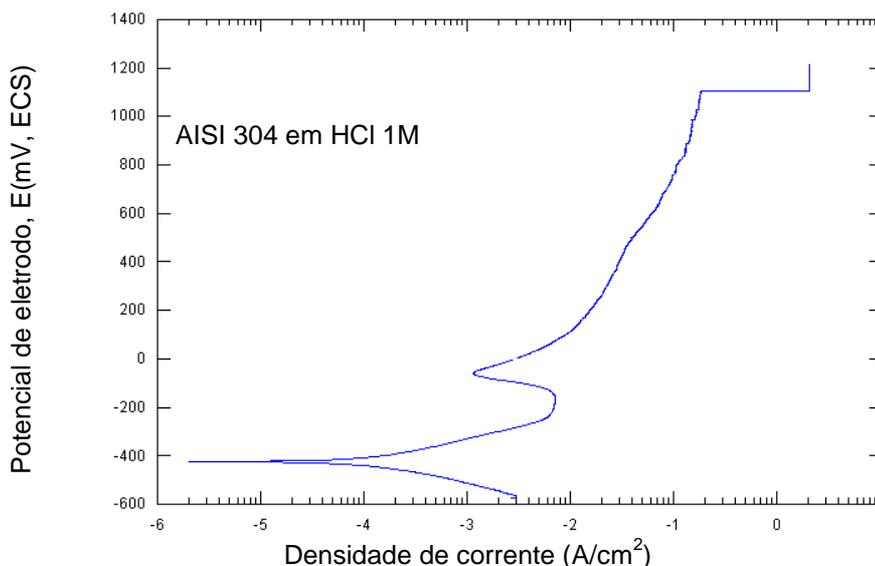
Os ensaios em HCl foram realizados utilizando 95%, 75% e 60% do σ_{ys} (limite de escoamento) do material. Já os ensaios realizados com $MgCl_2$ em ebulição foram realizados utilizando 70, 50 e 30% do σ_{ys} .

3 RESULTADOS

As curvas de polarização potenciodinâmica obtidas neste trabalho para o aço AISI 304 são apresentadas na Figura 4(a,b). Os meios utilizados nos ensaios foram: HCl 1M (pH aproximadamente 0,00) e NaCl 3,5 (% massa). Nota-se maior agressividade para a solução em HCl em relação à com 3,5% NaCl em função do menor potencial de corrosão, maior densidade de corrente, portanto, maior taxa de corrosão e não passivação da liga no meio extremamente ácido.



(a)



(b)

Figura 4 – Curvas de polarização potenciodinâmica obtidas para o aço AISI 304 à temperatura ambiente: (a) em NaCl 3,5 (% massa); (b) em HCl 1M (pH \cong 0,00).

Os resultados dos ensaios com carga constante são apresentados nas Tabelas 2, para os CPs ensaiados em HCl, e 3 para os CPs ensaiados em MgCl₂.

Tabela 2 – Ensaios de CST com carga constante em CPs sem entalhe de aço AISI 304 em HCl 1M (pH \cong 0,00) na temperatura ambiente

| CP | Peso (N) | σ (MPa) | σ/σ_{ys} | Tempo de ruptura (h) |
|----|----------|----------------|----------------------|----------------------|
| 01 | 329 | 290 | 0,60 | NT |
| 02 | 437 | 385 | 0,75 | T* |
| 03 | 549 | 485 | 0,95 | 388 |

σ = tensão aplicada; σ_{ys} = limite de escoamento; NT = não trincou; T* = trincamento em 1.000h

Tabela 3 – Ensaios de CST com carga constante em CPs sem entalhe de aço AISI 304 em MgCl₂ 42% (massa) a 143°C

| CP | Peso (N) | σ (MPa) | σ/σ_{ys} | Tempo de ruptura (h) |
|----|----------|----------------|----------------------|----------------------|
| 01 | 162 | 145 | 0,30 | 10 |
| 02 | 271 | 241 | 0,50 | 3 |
| 03 | 380 | 338 | 0,70 | 2 |

σ = tensão aplicada; σ_{ys} = limite de escoamento; NT = não trincou; T* = trincamento em 1.000h

Observa-se que o MgCl₂ em solução de 42% (massa) em ebulição comportou-se de forma muito mais agressiva que o HCl 1M na temperatura ambiente. Os CPs ensaiados em HCl sofreram CST apenas com cargas apartir de 75% do σ_{ys} , fraturando quando a carga utilizada foi de 95% do σ_{ys} . Já os CPs ensaiados em MgCl₂, todos sofreram fratura por CST em todas as cargas adotadas nos ensaios e o tempo de trincamento e ruptura foi muito menor em relação aos CPs ensaiados em HCl.

Nas Figuras 5(a,b) pode-se observar macrofratografias de um CP ensaiado com HCl 1M. Nota-se as trincas que surgiram ao longo da área útil do CP bem como seu alongamento, na Figura 5(b), devido à deformação plástica sofrida durante o ensaio.



Figura 5 – Macrofratografia de CPs de aço AISI 304 ensaiado em CST em HCl, $\text{pH} \cong 0,00$, na temperatura ambiente; (b) comparação do mesmo CP ensaiado com um CP sem ensaiar.

Pode-se observar através da Figura 6 características de fratura frágil com facetas de clivagem, comprovando o fenômeno CST.

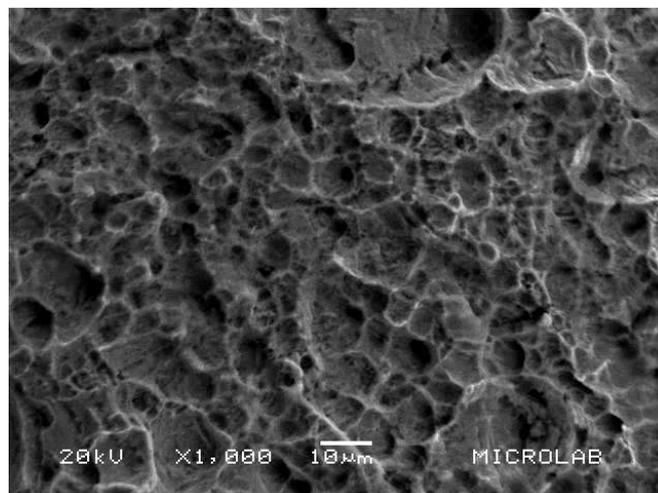


Figura 6 - Microfratografia de CP de aço AISI 304 ensaiado com carga constante em HCl, $\text{pH} \cong 0,00$ com aumento de 1.000X.

Os CPs ensaiados em HCl com 75% do σ_{ys} não sofreram ruptura durante o período de 1.000 horas. Entretanto, estes CPs sofreram trincamento por CST ao longo da área útil, como pode ser observado nas Figuras 6(a,b).

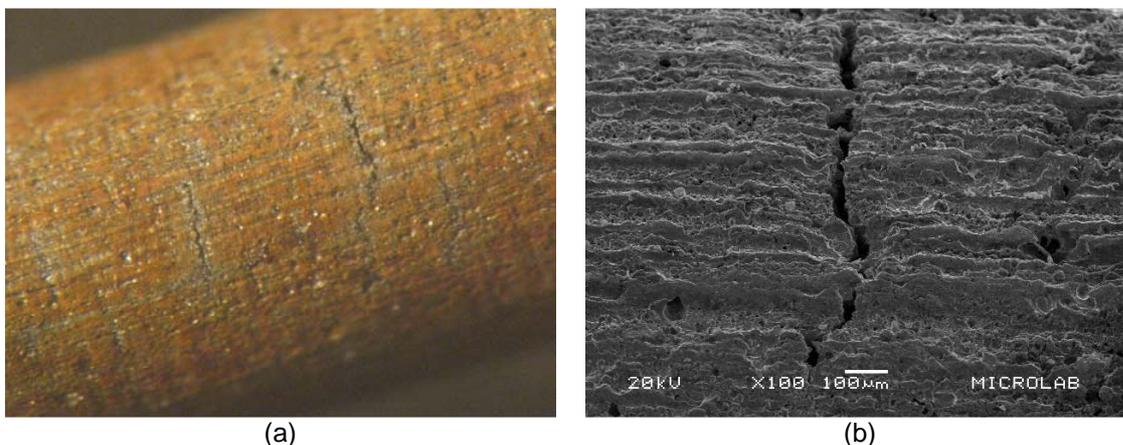


Figura 6 - Corpo de prova trincado após 1000 horas de ensaio; sistema: aço AISI 304 ensaiado em CST em HCl, $\text{pH} \cong 0,00$, na temperatura ambiente; (a) 16X (lupa); (b) 100X (MEV).

4 DISCUSSÃO

Em estudos anteriores para um aço do tipo Duplex (austeno-ferrítico), ensaiados com carga constante em $MgCl_2$ 42% (massa) na temperatura de ebulição, o tempo de fratura para cargas entre 26% e 86% do σ_{ys} variou entre 494 horas e 17,85 horas.⁽⁴⁾ Nota-se que para o aço AISI 304 (austenítico), o tempo de fratura foi menor.

Osama e Nishimura⁽⁷⁾ encontraram para os aços AISI 310 e 316, ensaiados com $MgCl_2$ 42% a 143°C utilizando uma carga de 300 MPa, o tempo de ruptura de 3,33 h e 1 h respectivamente como pode ser observado na Figura 7.

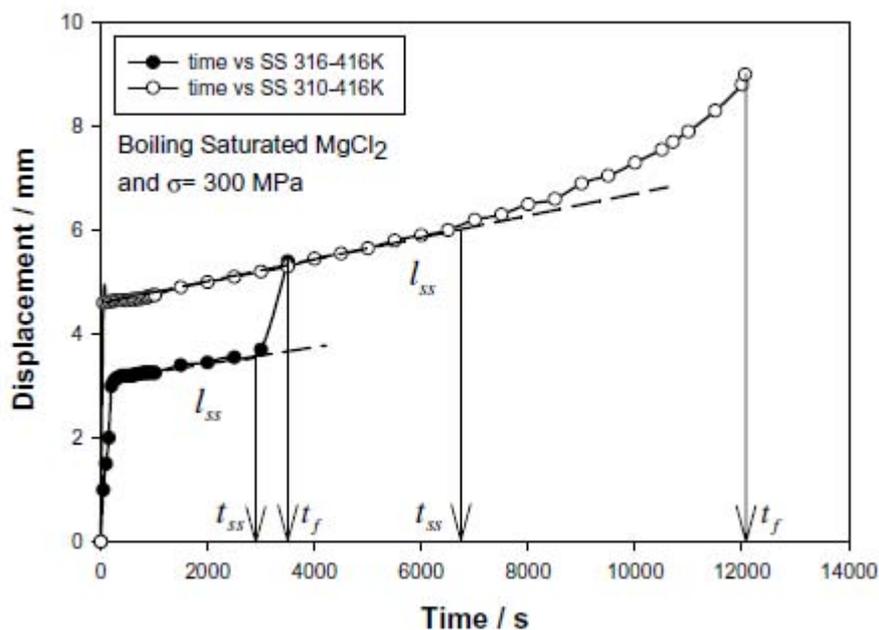


Figura 6 – Curvas de alongamento por CST para os aços AISI 310 e 316 em $T=143^{\circ}C$ e $\sigma=300$ MPa ensaiados em $MgCl_2$. Fonte: Corrosion Science 48 (2006).

5 CONCLUSÃO

- O meio $MgCl_2$ 42% (massa) em ebulição é muito mais agressivo que o meio HCl 1M ($pH \cong 0,00$);
- Existe uma relação direta da carga aplicada durante o ensaio com a taxa de corrosão determinando que quanto maior esta carga, menor o tempo de resistência do material à CST;
- Os ensaios de polarização potenciodinâmica do sistema: aço AISI 304/1M HCl ($pH \cong 0,00$), na temperatura ambiente, indicaram que esse meio é muito mais agressivo que em soluções aquosas contendo 3,5% (peso) de NaCl;
- A fratura dos CPs ensaiados sob carga constante foi caracterizada como frágil devido a presença de facetas de clivagem, embora o material tenha comportamento dúctil mecanicamente.
- Apesar de ser o aço inoxidável mais utilizado atualmente, o AISI 304 apresenta maior suscetibilidade à CST que os aços Duplex e AISI 310 e 316.

Agradecimentos

Os autores agradecem à REDEMAT e CAPES pela bolsa de estudos do mestrando e a FAPEMIG pelo apoio financeiro para a participação no evento.

REFERÊNCIAS

- 1 CHAWLA, S.L.; GUPTA, R.K. **Materials Selection for Corrosion Control**; Ed. ASM International, 1995.
- 2 BROWN, B. F. **A preface to the problem of stress corrosion cracking**. Symposium presented Special Technical Publication – STP 518. Stress corrosion cracking of metals – a state of the art, ASTM, Philadelphia, Pa., p.3-15, 1983.
- 3 KRUGER, J. **Failure by stress corrosion cracking current approaches toward failure prediction**. Apud YAHALOM, J.: ALADJEM, A stress corrosion cracking. Freund, cap.1, p. 6-35, 1980.
- 4 CÂNDIDO, L. C. **Corrosão sob tensão de aços inoxidáveis duplex, em soluções aquosas contendo cloretos em ebulição, através de diferentes técnicas experimentais**. Tese – UFMG, 1996, 207p.
- 5 JONES, R. H., RICKER, R.E. **Mechanisms of Stress-Corrosion Cracking**. In: JONES, R. H. Stress-Corrosion Cracking: Materials Performance and Evaluation. Ohio. ASM International, 1993.
- 6 NISHIMURA, R. **Characterization and perspective of stress corrosion cracking of austenitic stainless steels (type 304 and type 316) in acid solutions using constant load method**. Corrosion Science 49 (2007) 81–91.
- 7 OSAMA, M. A., NISHIMURA, R. **The effect of test temperature on SCC behavior of austenitic stainless steels in boiling saturated magnesium chloride solution**. Corrosion Science 48 (2006) 4283–4293.