



# CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE SCC DA LIGA 7075-T6 PELO ENSAIO DE DEFORMAÇÃO LENTA<sup>1</sup>

Pedro Alcântara de Mattos Júnior<sup>2</sup>

Cartergiane Júnio de Oliveira<sup>3</sup>

Perrin Smith Neto<sup>4</sup>

Mônica Maria de Abreu Mendonça Schvartzman<sup>5</sup>

Marco Antônio Dutra Quinan<sup>5</sup>

## Resumo

A liga de alumínio 7075 é geralmente utilizada em aplicações nas quais são necessárias altas resistências mecânica e de tenacidade. Dependendo da aplicação, a resistência à corrosão também pode ser um fator essencial. O presente trabalho visou estudar o comportamento da liga 7075-T6 sob as condições de Corrosão Sob Tensão (CST), utilizando o ensaio de deformação lenta em meio NaCl –3,5%. De um bloco da liga foram retirados corpos de prova nos três sentidos de orientação ortogonais. Foram realizados ensaios de CST com taxa de deformação lenta ( $2,606 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ ) em meio inerte (ar) e em solução de NaCl 3,5%, ambos à temperatura ambiente. Além disso, foi feita a caracterização metalográfica, mecânica e eletroquímica. Foram obtidas curvas tensão-deformação para cada ensaio. A avaliação da suscetibilidade à CST do material foi realizada por meio da comparação entre os valores de tempo de ruptura, limite de resistência mecânica e deformação total, obtidos no meio inerte e no meio de interesse. Comparando-se o comportamento frente à CST, verificou-se que, na condição estudada, a liga de alumínio 7075-T6 é suscetível a este processo e que existe uma diferença de comportamento entre cada uma das direções.

**Palavras-chave:** Corrosão sob tensão; Liga 7075–T6, Ensaio de deformação lenta.

## CHARACTERIZATION OF SCC BEHAVIOUR OF 7075-T6 ALLOY BY MEANS OF THE SLOW STRAIN-RATE TECHNIQUE

### Abstract

Alloy 7075 is generally applied where it requires high mechanical strength and toughness. Depending of the application, the corrosion resistance can be an essential factor of studies. The present work intends study the behavior of the SCC in 7075-T6 alloy using the Strain Slow Rate Testing under environment of NaCl - 3.5%. In an alloy block were removed specimens in three directions of orthogonal orientation. Tests of Slow Strain Rate Testing were done with Strain rate of  $2,606 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$  in the air and in NaCl 3.5% aqueous solution. Tensile tests were conducted at room temperature. Analysis of behavior metallographic, mechanical and electrochemical and stress-strain curves were plotted and included in this work. Comparisons between results (time to failure, maximum load, maximum strain) of identical specimens exposed to the test environment and to an inert environment were used for assessing of susceptibility. The analysis results of comparisons tests, in this case, indicate a difference in behavior of SCC in each orientation.

**Keywords:** Stress corrosion cracking; 7075 – T6 alloy.

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

<sup>2</sup> Mestrando Engenharia Mecânica PUC-MG – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

<sup>3</sup> Aluno Graduação em Engenharia Metalúrgica UFMG - CDTN

<sup>4</sup> PhD em Engenharia Mecânica PUCMINAS .

<sup>5</sup> Drª. Tecnologista – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear



## 1 INTRODUÇÃO

A corrosão, de uma forma geral, é um processo espontâneo e está constantemente degradando os materiais metálicos, alterando a durabilidade e o desempenho dos mesmos, que, assim, deixam de satisfazer os fins a que se destinam. Essa degradação representa perdas significativas para os diversos segmentos industriais. A Corrosão Sob Tensão (CST) ou *Stress Corrosion Cracking* (SCC), por sua vez, é um dos mais importantes tipos de corrosão. É um fenômeno que produz um tipo de fratura, que se desenvolve sob tensões de tração relativamente baixas, quando metais ou ligas são expostos a um determinado meio corrosivo.<sup>(1)</sup>

Certos materiais, em meios específicos, não apresentam processos corrosivos. Quando esses materiais, nos mesmos meios, são submetidos a esforços de tração, podem apresentar um processo de crescimento de trincas. Esse processo ocorre devido a um fenômeno denominado CST. Sendo assim, para que haja a CST, temos que garantir a existência de três fatores primordiais: um material, um meio e um agente de esforços. Tudo isso em um tempo mínimo de ocorrência.

Na CST, tem-se a deterioração de materiais devido à ação combinada de tensões de tração e meios corrosivos. Existe uma ação sinérgica da tensão e do meio corrosivo, ocasionando a fratura em um tempo mais curto do que a soma das ações isoladas de tensão e da corrosão.<sup>(2)</sup>

Para se estudar ou avaliar o comportamento destes materiais frente à CST, diversos tipos de ensaio podem ser utilizados. Um destes ensaios é o de deformação lenta, conhecido, também, por sua sigla em inglês, SSRT (*Slow Strain Rate Test*). Estes ensaios são utilizados para avaliar ou selecionar materiais para um meio específico ou aplicação definida; determinar a vida em serviço de um produto ou estrutura; avaliar materiais novos ou já conhecidos, para determinar em quais condições eles são suscetíveis à corrosão; determinar o meio mais econômico para reduzir o fenômeno de corrosão – através da avaliação de métodos de prevenção; estudar os mecanismos de corrosão; controlar a resistência dos materiais à corrosão e o grau de agressividade do meio.

O objetivo deste trabalho é confirmar o comportamento da liga 7075-T6 sob as condições de CST, no ensaio de deformação lenta, analisando os padrões para o ensaio no meio NaCl-3,5%.

A principal vantagem do ensaio de taxa de deformação lenta é a relativa rapidez com que a suscetibilidade à CST de uma liga particular, num meio determinado, pode ser avaliada. O ensaio sempre chega até a fratura do corpo de prova (CP) e a superfície fraturada é então analisada.<sup>(3)</sup>

Uma significativa variável, nesse ensaio, é a magnitude da taxa de deformação. Se essa taxa é muito alta, a fratura ocorrerá antes que as reações de corrosão necessárias ao desenvolvimento do fenômeno possam ocorrer. Então, taxas de deformação relativamente lentas devem ser usadas. Entretanto, para taxas de deformação muito baixas, a corrosão pode ser suprimida, pois a repassivação, ou a recomposição, do filme ocorrerá, tal que as reações necessárias no metal não se desenvolverão e a CST poderá não ocorrer. A faixa de taxas de deformações críticas típica é de  $10^{-5}$  a  $10^{-7} \text{ s}^{-1}$ . Dependendo do sistema liga/meio, a taxa de deformação mais severa deve ser determinada em cada caso.<sup>(4,5)</sup>

Na preparação dos CPs, alguns fatores devem ser considerados:<sup>(6)</sup> orientação dos grãos, tensões residuais, condições superficiais e possíveis soldas. Quanto à orientação dos grãos, tem-se uma relação entre a direção de aplicação de tensão e a direção de orientação dos grãos, podendo ocorrer mudança de propriedades.



Quanto às tensões residuais, estas podem ser suficientes para promover a CST, mesmo sem aplicação de tensões externas.

Assim, na preparação dos CPs, deve-se evitar abrasão ou pressão em excesso, para evitar a ocorrência de tensões residuais. Os CPs para ensaios de tração seguem a norma ASTM E-8 e possuem geometrias e dimensões variadas, em função do sistema de ensaio e da disponibilidade de material.<sup>(7)</sup>

A liga 7075 foi desenvolvida para melhorar as propriedades metalúrgicas do metal puro, garantindo, assim, uma liga mais leve e com propriedades mecânicas otimizadas, sendo de grande utilização na aeronáutica. A suscetibilidade à CST, nas ligas de alumínio, é observada em materiais que contenham quantidades apreciáveis de elementos, tais como, cobre, magnésio, silício e zinco.

A opção pelo tipo de ensaio de deformação lenta se baseia na simplicidade do ensaio, baixo custo de utilização e/ou tempo de ensaio relativamente curto.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se o alumínio 7075-T6, adquirido na forma de barra, com dimensões de 263x150x150mm.

### 2.1 Metalografia

O sentido da laminação da peça pode alterar a forma dos grãos do material, bem como o comportamento da CST.<sup>(8)</sup> Sendo assim, foram preparadas amostras metalográficas nos três sentidos de orientação ortogonais. As amostras foram embutidas, lixadas e polidas até 1 $\mu$ m para a análise metalográfica. Foi realizado um ataque químico com reagente de Keller (5 ml de ácido nítrico, 3 ml de ácido clorídrico, 2 ml de ácido fluorídrico e 190 ml água destilada) por imersão, durante 20s.<sup>(9)</sup>

Efetou-se o embutimento a frio, de forma a não alterar as características do material, utilizando-se resina RK 102. O lixamento e polimento foram realizados de acordo com a seqüência: #80, #220, #320, #400, #600, #1000, #1200, #2000, 6  $\mu$ m, 3  $\mu$ m, 1  $\mu$ m.

As amostras foram fotografadas em um microscópio marca LEITZ, modelo ORTHOLUX II-POL-BK, no qual foi adaptada uma câmara digital acoplada a um microcomputador.

### 2.2 Ensaios de Polarização

Os procedimentos obedeceram à Norma ASTM G5 – *Standard Reference Method for Making Potenciostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements.*<sup>(10)</sup>

As curvas de polarização potenciodinâmicas anódicas foram levantadas, utilizando-se um potenciostato / galvanostato Autolab PGSTAT20, acoplado a um microcomputador. Os ensaios foram realizados em solução aquosa NaCl 3,5%, em peso, desaerada. A célula eletroquímica utilizada foi uma Flat Cell, com eletrodo de referência de Ag/Ag/Cl 1,0 mol./L e contra eletrodo de platina. A área de exposição nominal das amostras foi em torno de 0,8 cm<sup>2</sup>. O potencial inicialmente aplicado foi de -0,20V, em relação ao potencial de corrosão, estabelecido após 50 minutos de imersão e a taxa de varredura do potencial foi de 1mV/s. A temperatura utilizada no ensaio foi de (25 $\pm$ 1) $^{\circ}$ C.

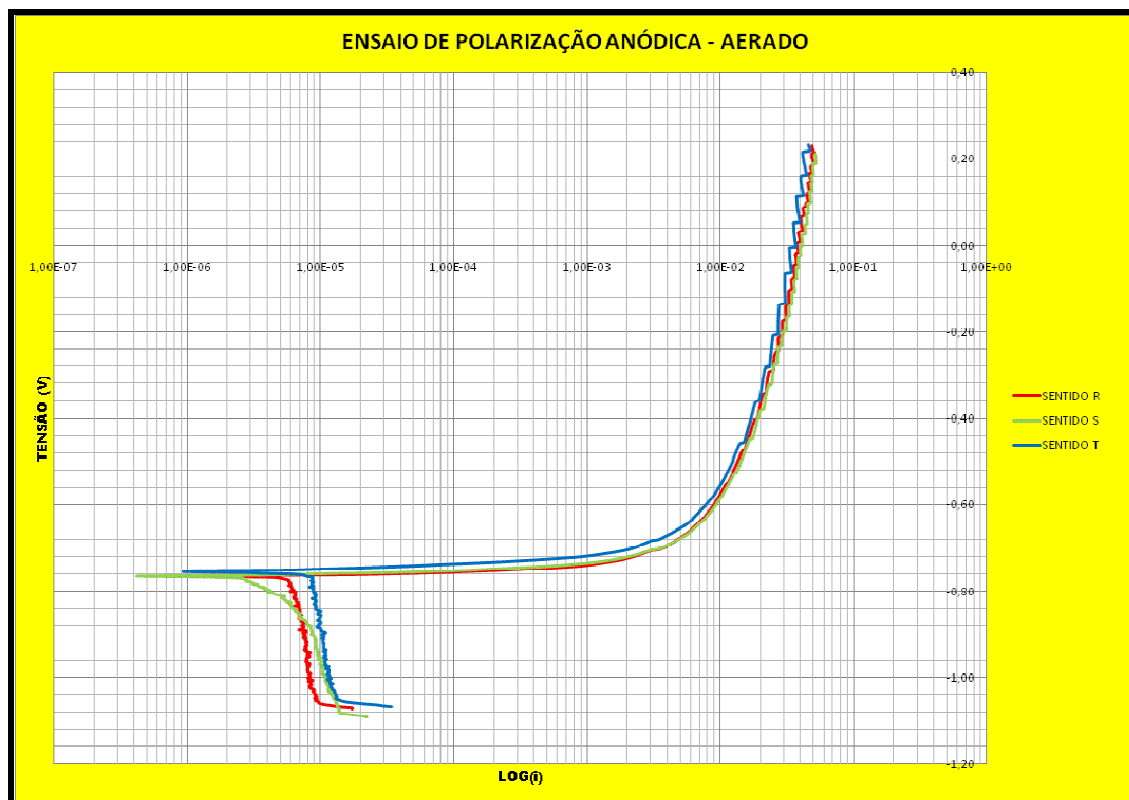
## 2.3 Ensaio de deformação lenta (SSRT)

Os ensaios de deformação lenta foram conduzidos de acordo com a Norma G129-00 (2006) Standard Practice for Slow Strain Rate Testing to Evaluate the Susceptibility of Metallic Materials to Environmentally Assisted Cracking.<sup>(11)</sup> Foi utilizado, como meio corrosivo, a solução aquosa de NaCl 3,5% em peso, com circulação forçada, com vazão aproximada de 1000 l/h.

As amostras para ensaios de tração seguem a norma ASTM E-8. Usinaram-se as amostras nos três sentidos, chamados de R, S e T. O equipamento de ensaio de deformação lenta utilizado é de fabricação da Cortest, com sistema de aplicação de carga, utilizando motor de passo, carga máxima de 6000 kgf. O ensaio SSRT foi conduzido em dois meios: (1) meio neutro (no ar, não suscetível à CST) e (2) meio de interesse, no caso NaCl (3,5%), no qual a resistência à CST foi avaliada.

## 3 RESULTADOS

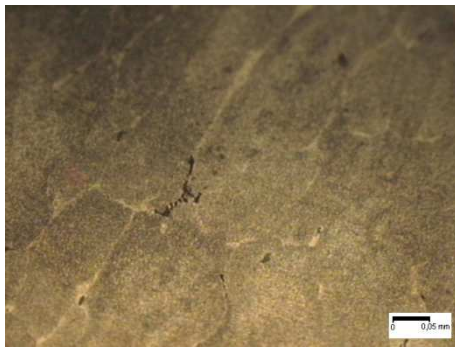
A Figura 1 apresenta as curvas de polarização anódicas das amostras da liga de alumínio 7075-T6, para cada um dos três sentidos de no meio NaCl 3,5%.



**Figura 1** - Curvas de polarização anódicas desaeradas de amostras da liga de alumínio, 7075-T6 obtidas nos ensaios solução de NaCl 3,5 %, taxa de varredura: 0,002 V/s.



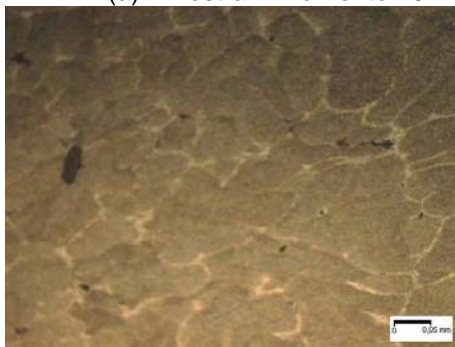
A Figura 2 apresenta as metalografias das amostras da liga de alumínio 7075-T6, nos três sentidos. Essas amostras foram fotografadas nas escalas de 50X, 100X e 200X. O reagente utilizado foi o Keller.<sup>(12)</sup>



(a) Amostra x: Aumento 20x



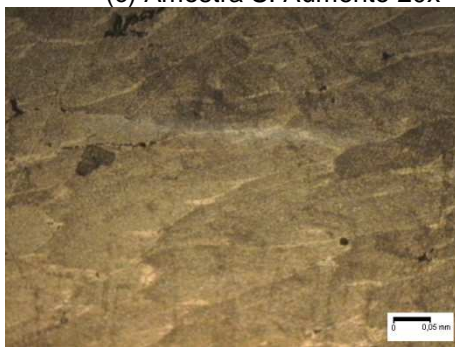
(b) Amostra x: aumento 10x.



(c) Amostra S: Aumento 20x



(d) Amostra S: aumento 10x.



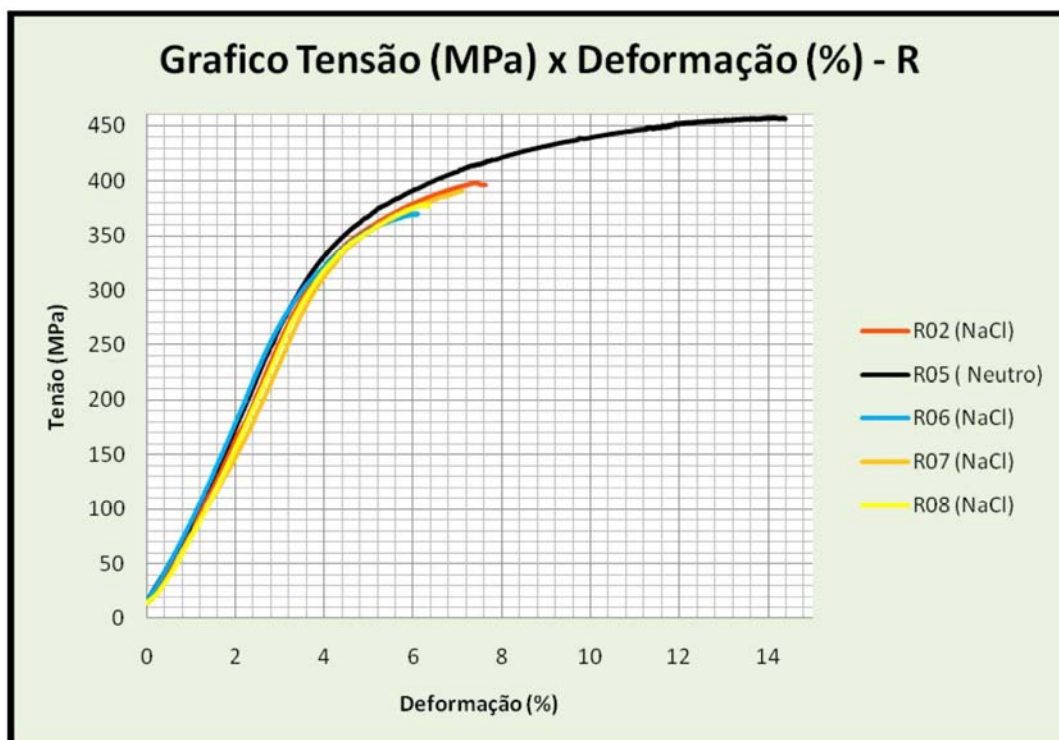
(e) Amostra T: Aumento 20x



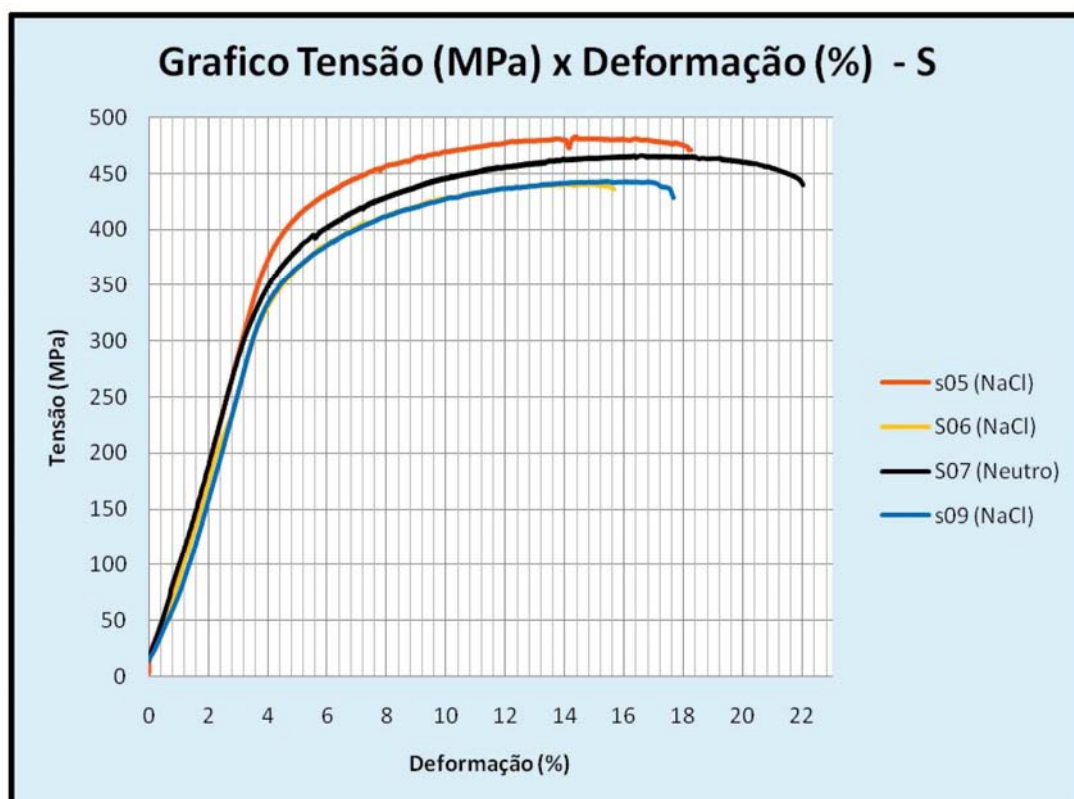
(f) Amostra T: aumento 10x.

**Figura 2:** Microestruturas (10X/20X) nos sentidos R, S e T.

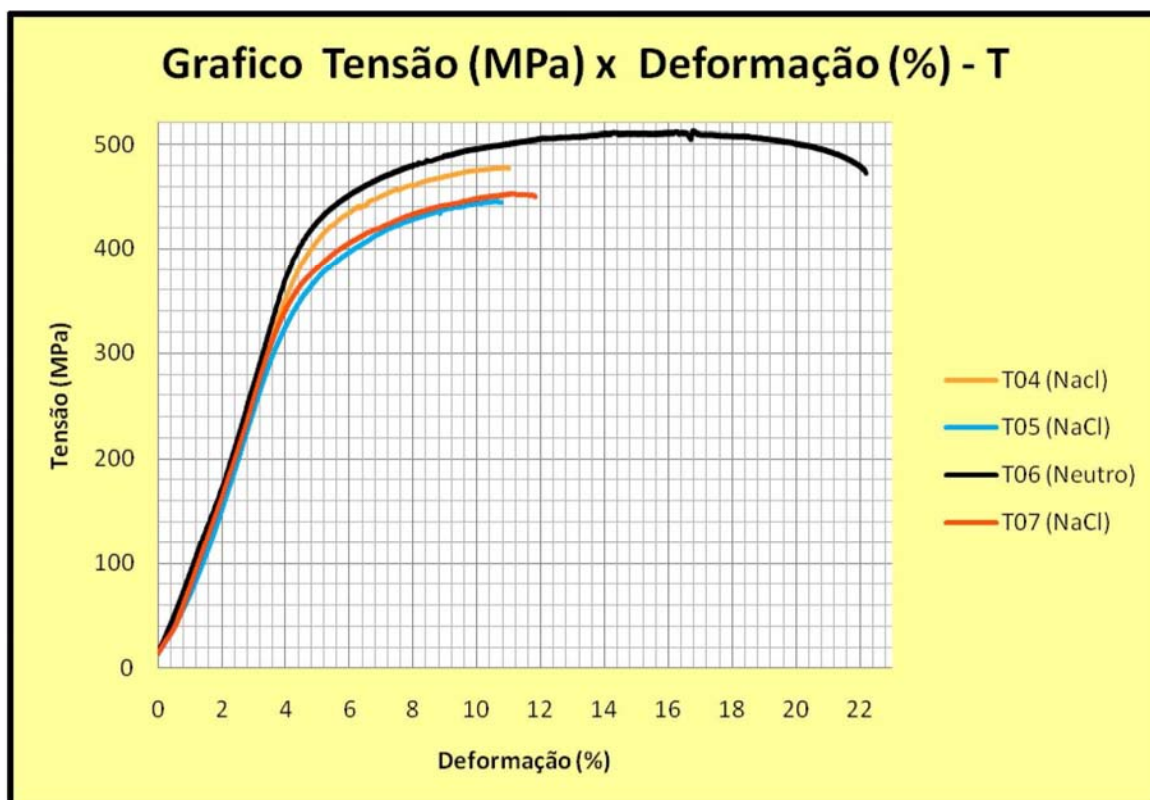
As Figuras 3, 4 e 5 apresentam, respectivamente, as curvas características de tração versus deformação relativa aos ensaios de deformação lenta das amostras nos três sentidos: R, S e T, no meio NaCl 3,5% e no meio neutro.



**Figura 3** - Curvas Tensão x Deformação da liga de alumínio, 7075 obtidas nos ensaios de deformação lenta na taxa de  $2,606 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$  no meio NaCl 3,5 % e no meio neutro para o sentido R.



**Figura 4** - Curvas Tensão x Deformação da liga de alumínio, 7075 obtidas nos ensaios de deformação lenta na taxa de  $2,606 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$  no meio NaCl 3,5 % e no meio neutro para os sentidos S.



**Figura 5** - Curvas Tensão x Deformação da liga de alumínio, 7075 obtidas nos ensaios de deformação lenta na taxa de  $2,606 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$  no meio NaCl 3,5 % e no meio neutro para o sentido T.

Nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente, são apresentados os valores obtidos nos ensaios de deformação lenta, das diversas amostras para os três sentidos: R, S e T.

**Tabela 1** – Resultados encontrados - Itens de relevância - orientação R – Figura 3

Orientação	R				
	Meio	Neutro	NaCl 3,5%		
Ensaio	R5	R2	R6	R7	R8
Tempo de Ensaio (horas)	153,48	81,25	65,16	75,87	67,97
Seção Útil (mm)	26,96	26	27,04	26,67	26,77
Velocidade de Ensaio (mm/s)	7,03E-06	86	7,05E-06	6,95E-06	6,98E-06
Limite de Escoamento (MPa)	330,19	7,00E-06	362,77	323,49	321,21
Limite de Resistência (MPa)	457,54	377,91	369,64	391,02	377,98
Limite de Ruptura (MPa)	455,97	398,90	369,43	390,58	375,94
Deformação Total (%)	14,39	7,62	6,12	7,12	6,37



**Tabela 2 - Resultados encontrados - Itens de relevância - orientação S – Figura 4**

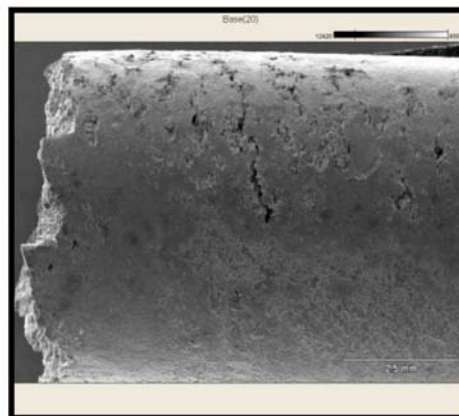
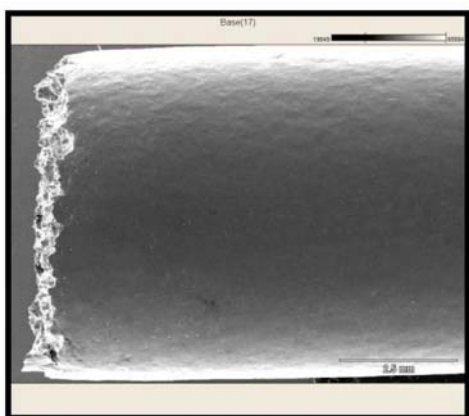
Orientação	S			
Meio	Neutro	NaCl 3,5%		
Ensaio	S7	S5	S6	S9
Tempo de Ensaio (horas)	234,67	197,00	167,11	188,06
Seção Útil (mm)	26,77	26,80	27,10	26,79
Velocidade de Ensaio (mm/s)	6,98E-06	6,98E-06	7,06E-06	6,98E-06
Limite de escoamento (MPa)	336,72	391,44	382,58	343,14
Limite de Resistência (MPa)	463,33	479,76	443,06	443,11
Limite de Ruptura (MPa)	437,33	467,85	438,22	428,48
Deformação Total (%)	22,03	18,47	15,68	17,64

**Tabela 3 - Resultados encontrados - Itens de relevância - orientaçãoT – Figura 5**

Orientação	T			
Meio	Neutro	NaCl 3,5%		
Ensaio	T6	T4	T5	T7
Tempo de Ensaio (horas)	236,36	117,15	114,74	126,09
Seção Útil (mm)	27,12	27,14	26,86	26,82
Velocidade de ensaio (mm/s)	7,07E-06	7,07E-06	7,00E-06	6,99E-06
Limite de escoamento (MPa)	419,00	393,18	741,51	367,65
Limite de Resistência (MPa)	511,92	480,68	495,51	452,47
Limite de Ruptura (MPa)	471,73	476,94	495,16	449,48
Deformação Total (%)	22,19	10,99	10,76	11,83

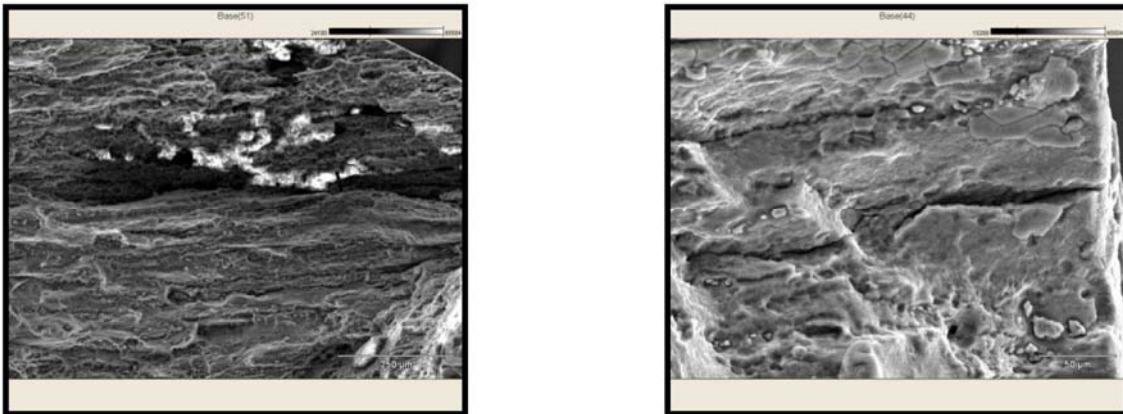
Na Figura 6, são apresentadas as imagens obtidas, no microscópio eletrônico de varredura (aumento de 15X), das amostras ensaiadas no meio neutro e no meio NaCl 3,5% , sentido T de orientação.

A Figura 7 apresenta as superfícies de fratura de uma amostra, sentido de orientação T, no meio NaCl 3,5%, obtidas no microscópio eletrônico de varredura (aumentos de 150X e 500X).



**Figura 6 - Perfil lateral da fratura do corpodeprova de liga de alumínio 7075, sentido T de orientação. Ensaio de CST com taxa de deformação  $2,606 \times 10^{-7}$  s<sup>-1</sup>. Meio: a) Neutro e b) NaCl 3,5%.**



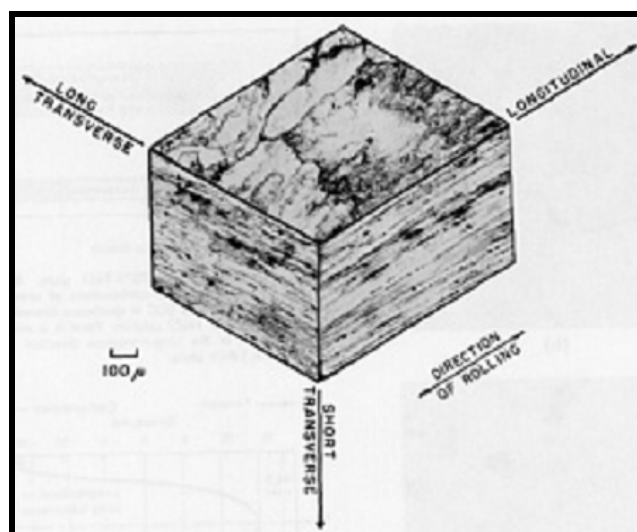


**Figura 7** – Superfície da fratura do alumínio 7075 após ensaio de CST com taxa de deformação  $2,606 \times 10^{-7}$  s<sup>-1</sup>. Meio: NaCl 3,5%, sentido T de orientação.

#### 4 DISCUSSÃO

A relação entre composição química, microestrutura e CST é tão complexa, quanto a relação entre o meio e CST. A composição global da liga pode afetar a estabilidade do filme passivo e a distribuição de fases (por ex., cromo em aços inoxidáveis); uma menor quantidade de elementos de liga pode causar mudanças nos elementos formadores de filme passivo como, por exemplo, carbono em aços inoxidáveis, causando sensitização.<sup>(13)</sup>

Espera-se que o material em questão tenha estrutura de grãos direcionais e anisotrópicos, principalmente com relação à resistência a SCC. Estudos indicam que a resistência à CST deva ser mais elevada, quando a tensão aplicada for na direção longitudinal; mais baixa, quando aplicada no sentido de orientação transversal curto e intermediária, quando aplicada no sentido transversal longo. Esta diferença fica mais acentuada para tâmporas T6 desta série 7xxx.<sup>(14)</sup> A liga de alumínio 7075 –T6, aqui estudada, apresentou, em sua metalografia, formações distintas com relação aos formatos dos grãos, para cada sentido de orientação, indicando que as amostras da Figura 1, estão em conformidade com os sentidos longitudinais e transversais (curtos e longos),<sup>(15)</sup> conforme indicado na Figura 8.



**Figura 8** – Composição micrográfica mostrando a estrutura do grão da liga de alumínio 7075.<sup>(15)</sup>

A resistência à Corrosão sob tensão pode ser obtida pelos parâmetros de ductibilidade (deformação plástica e redução da área), que são obtidos das amostras testadas. O parâmetro, definido pela norma G129,<sup>(16)</sup> é a taxa de deformação plástica (RE), que define como sendo a razão entre a deformação plástica no meio corrosivo pela deformação plástica no meio neutro. O uso da deformação plástica, ao invés da deformação total, é para minimizar os erros que podem ser majorados pelos parâmetros do equipamento de ensaio. Para o caso em questão, considerou-se apenas a deformação total, uma vez que o erro é pequeno e pode ser desconsiderado.

Conforme verificamos na Tabela 4, a amostra no sentido de orientação R, no meio neutro, apresentou uma deformação total de 14,4%. No meio NaCl 3,5%, os valores variaram de 6,1% a 7,6%, gerando um fator RE médio igual a 47,3.

A amostra no sentido de orientação S, no meio neutro, apresentou uma deformação total de 22,0%. No meio NaCl 3,5%, os valores variaram de 15,7% a 18,5%, gerando um fator RE médio igual a 78,4.

A amostra no sentido de orientação T, no meio neutro, apresentou uma deformação total de 22,2%. No meio NaCl 3,5%, os valores variaram de 10,8% a 11,8%, gerando um fator RE médio igual a 50,5.

**Tabela 4** – Quadro Resumo dos dados encontrados nas três orientações de estudo<sup>(17)</sup>

Orientação	Meio Neutro	Meio NaCl 3,5%		
	Deformação Total%	Nº AMOSTRAS	Deformação Total Média %	RE
R	14,4	4,0	6,8	47,3
S	22,0	3,0	17,3	78,4
T	22,2	3,0	11,2	50,5

Os resultados encontrados nos ensaios de polarização anódica, apresentaram valores compatíveis com os encontrados na literatura.<sup>(18,19)</sup> Os resultados mostram que o sentido de laminação do material não gera alterações no potencial de passivação para a liga em questão.

## 5 CONCLUSÃO

O ensaio de polarização des aerado confirmou os resultados já encontrados na literatura e, ainda, verificou-se que o comportamento foi semelhante para qualquer orientação.

A partir da análise geral dos dados obtidos nos ensaios de tração com taxa de deformação lenta – curvas tensão versus deformação, juntamente com a razão entre deformação no meio de estudo e meio neutro e as microfratografias<sup>(20,21)</sup> – verificou-se que a liga de alumínio 7075 é suscetível à CST, no meio NaCl 3,5%, sendo que o sentido de orientação influencia, significativamente, os resultados.

## Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq e à FAPEMIG pelo financiamento do Trabalho.



## REFERÊNCIAS

- 1 1 SIERADZKI, K., NEWMAN, R.C. Stress corrosion cracking. **J. Phys. Chem. Solids**, v.48, n.11, p.1101-
- 2 PARKINSON, Jonathan Neil . An appraisal of recreational water quality control procedures with reference to a Case. Study at Saltburn, Northumberland. 1993.
- 3 AMERICAN SOCIETY FOR METALS INTERNATIONAL HANDBOOK COMMITTEE. (ASM/HANDBOOK) In: **Metals Handbook: Corrosion**. Metals Park, 2003.
- 4 AMERICAN SOCIETY FOR METALS INTERNATIONAL HANDBOOK COMMITTEE. (ASM/HANDBOOK) In: **Metals Handbook: Corrosion**. Metals Park, 2003.
- 5 KANE D.: RUSSEL. **Slow Strain Testing For The Evaluatin Of Environmentally Induced Cracking**: reasearch and engineering aplicattions. Philadelphia: ASTM International, 1992.
- 6 AMERICAN SOCIETY FOR METALS INTERNATIONAL HANDBOOK COMMITTEE. (ASM/HANDBOOK) In: **Metals Handbook: Corrosion**. Metals Park, 2003.
- 7 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) E8. Disponível em:< <http://www.astm.org/Standards/E8.htm>>Acesso em 3 de mai. de 2009.
- 8 AMERICAN SOCIETY FOR METALS INTERNATIONAL HANDBOOK COMMITTEE. (ASM/HANDBOOK) In: **Metals Handbook: Corrosion**. Metals Park, 2003.
- 9 COUTINHO, TELMO DE AZEVEDO. Metalografia dos não ferrosos. São Paulo: Análise Prática, 1980.
- 10 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G5. Standard Reference Method For Making Potentiostatic and Potentiodynamic anodic Polarization Measurements In: **Annual Book of ASTM Standards**, West Conshohocken. 1995.
- 11 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G129. Standard practice for slow strain rate testing to evaluate the susceptibility of metallic materials to environmentally assisted cracking. In: \_ Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken. 1995
- 12 COUTINHO, TELMO DE AZEVEDO. Metalografia dos não ferrosos. São Paulo: Análise Prática, 1980.
- 13 AMERICAN SOCIETY FOR METALS INTERNATIONAL HANDBOOK COMMITTEE. (ASM/HANDBOOK) In: **Metals Handbook: Corrosion**. Metals Park, 2003.
- 14 AMERICAN SOCIETY FOR METALS INTERNATIONAL HANDBOOK COMMITTEE. (ASM/HANDBOOK) In: **Metals Handbook: Corrosion**. Metals Park, 2003.
- 15 LIFKA, BERNARD W. Corrosion Tests and Standards. 2<sup>nd</sup> Edition. Robert Baboian Editor, 2005.
- 16 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G129. Standard practice for slow strain rate testing to evaluate the susceptibility of metallic materials to environmentally assisted cracking. In: \_ Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken. 1995
- 17 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G129. Standard practice for slow strain rate testing to evaluate the susceptibility of metallic materials to environmentally assisted cracking. In: \_ Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken. 1995
- 18 CAVANAUGH, M.K. Evaluation of a simple microestructural-electrochemical model for corrosion damage accumulation in microstrutucturally complex aluminium alloys. **Engeneering Fracture Mechanics**. v.76, p. 641-650.2009.
- 19 HSUEH-LUNG, Liao. Effect of pre-immersion on the SCC of hest-treated AA7050 in an alkaline 3.5% NaCl. *Corrosion Science*, 2009, p.209-216
- 20 XIAODONG, Liu. Effect of applied tensile stress on intergranular corrosion of aa 2024-T3. **Corrosion Science**, 24; p.405-425. 2004.
- 21 CONDE, A. Characterization of SCC behavior of 8090 Al-Li alloy by means of slow-strain-rate. *Technique. Corrosion Science*, V. 1, p. 91-102, 1998.