

ESTUDO DA VELOCIDADE DE CORROSÃO EM LIGAS DE Al-3%Cu E Al-5%Cu

B. B. SOUSA¹, L. N. de SOUSA¹, A. L. S. MOREIRA² e J. C. CARDOSO FILHO¹

¹ Universidade Federal do Pará/ Laboratório de Corrosão

² Universidade Federal do Pará/ Faculdade de Engenharia Mecânica

E-mail para contato: jc@ufpa.br

RESUMO – O alumínio em estado puro apresenta baixa dureza e resistência mecânica, não servindo para determinadas aplicações. Ocorre, então, a necessidade de combiná-lo com outros metais para aumentar sua utilidade industrial. O alumínio e suas ligas apresentam resistência à corrosão em muitos ambientes e, por essa razão, possuem aplicações industriais importantes. Foi investigada a taxa de corrosão de ligas de Al-3%Cu e Al-5%Cu solidificadas horizontalmente. Ensaio de perda de massa foram obtidos em meio de HCl (0,2 mol.L⁻¹), na temperatura de 25°C. Ambas as ligas apresentaram menor taxa de corrosão na região próxima à superfície de resfriamento, ou seja, a resistência à corrosão decresceu com o aumento do espaçamento de solidificação.

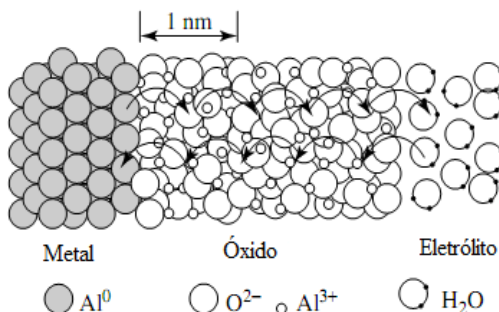
1. INTRODUÇÃO

Embora o alumínio seja o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, é o metal mais jovem usado em escala industrial. Consta que ceramistas da Pérsia já produziam vasos com barro específico que continha óxido de alumina. Posteriormente, egípcios e babilônios fizeram o uso de substância contendo alumínio para a fabricação de cosméticos e produtos medicinais (ABAL, 2013).

O alumínio comercialmente puro é um metal de baixa massa específica, facilmente deformável, com elevada condutibilidade elétrica e térmica e baixa temperatura de fusão. Não é tóxico, não produz ignição e não é magnético (Oguzie, 2009).

O alumínio e suas ligas apresentam resistência à corrosão em muitos ambientes e, por essa razão, possuem aplicações industriais importantes. A resistência à corrosão é devido ao fato de que o alumínio é coberto com uma película de óxido natural, contínua e uniforme (Al₂O₃), formada espontaneamente em meios de oxidação (Vargel, 2004). Este filme natural de alumina é estável em ambientes com valores de pH próximo ao neutro, mas se dissolve em meio ácido ou alcalino (Fuente, Otero-Huerta, Morcillo; 2007), apresentado de forma esquemática na Figura 1.

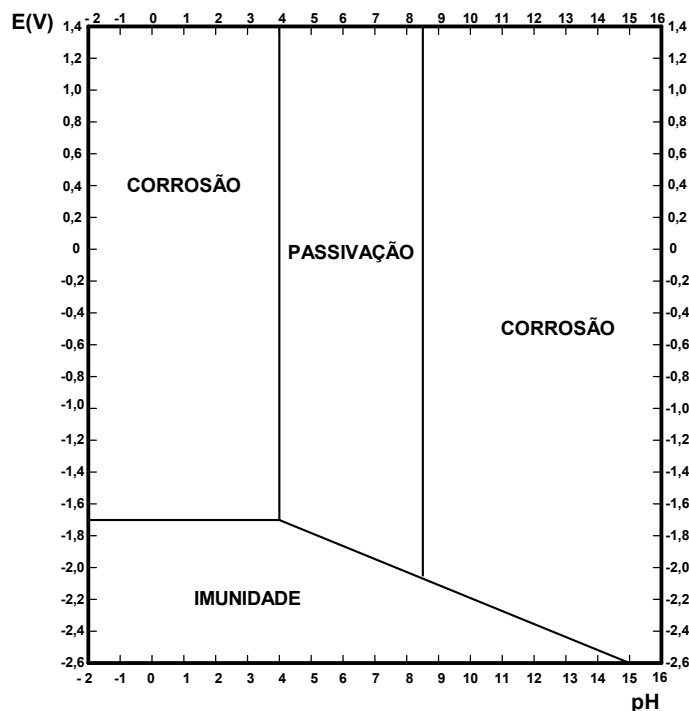
Figura 1 – Formação da alumina (Al_2O_3) de forma esquemática (Santos *et al.*, 2012).



O alumínio em estado puro apresenta baixa dureza e resistência mecânica, não servindo para determinadas aplicações. Ocorre, então, a necessidade de combiná-lo com outros metais para aumentar sua utilidade industrial. De acordo com Callister (2002), as ligas apresentam características diferentes daquelas apresentadas pelos seus metais constituintes, tais como dureza, ductilidade, condutividade, entre outras; além disso, suas propriedades dependem fundamentalmente da composição, da microestrutura e do tratamento térmico ou mecânico.

O diagrama de Pourbaix (E-pH) do alumínio em meio aquoso é apresentado de maneira simplificada na Figura 2, na qual a existência da região de passivação está relacionada com a formação do óxido Al_2O_3 .

Figura 2 – Diagrama de Pourbaix (E-pH) do alumínio em meio aquoso a 25°C (Santos *et al.*, 2012).



Em ligas, propriedades como resistência mecânica, dureza e resistência à corrosão são dependentes, dentre outros aspectos, da composição química, dos métodos de fundição, da taxa de solidificação, dos tratamentos térmicos e da microestrutura formada após a solidificação (Costa, 2013).

O objetivo desse trabalho é investigar as velocidades de corrosão de ligas de Al-3%Cu e Al-5%Cu em meio ácido ($\text{HCl} - 0,2 \text{ mol.l}^{-1}$) e comparar os resultados em diferentes posições do corpo de prova, a partir da superfície de extração de calor do molde de solidificação.

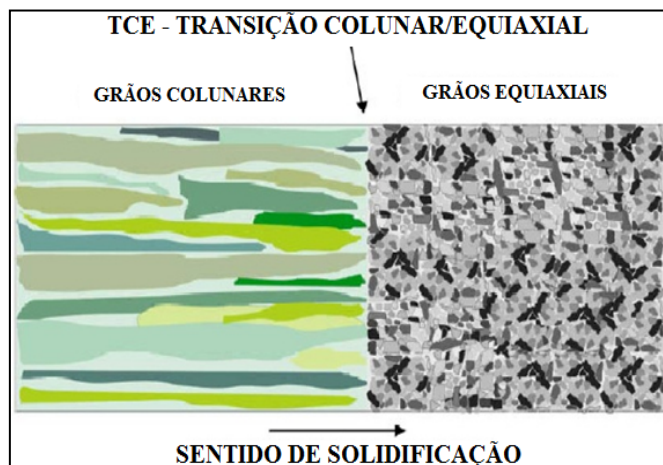
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Corpos de Prova

Os corpos de prova de Al-Cu foram fornecidos pelo Laboratório de Engenharia de Materiais e Metalurgia do Instituto Federal do Pará (IFPA). O Al-puro foi fornecido pelo Laboratório de Engenharia Mecânica (GPEMAT) da Universidade Federal do Pará (UFPA). Os ensaios de corrosão foram realizados no Laboratório de Corrosão (LC) da UFPA.

Foram estudadas as duas posições extremas (Figura 3), CP01 (grãos colunares) e CP07 (grãos equiaxiais), a partir da superfície resfriada dos lingotes de Al-3%Cu e Al-5%Cu.

Figura 3 – Macroestrutura com transição colunar/equiaxial.



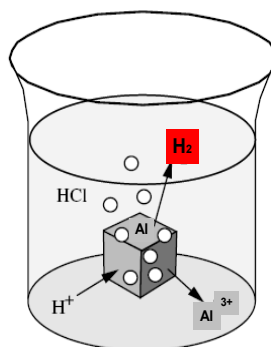
Fonte: Adaptado de GARCIA, 2005.

2.2. Ensaios de Perda de Massa

Para os ensaios de perda de massa, as peças foram reduzidas a pequenas placas com dimensões definidas. As superfícies dos corpos de prova foram desbastadas com o auxílio de lixas de mesh #100, #220, #400 e #600, com a finalidade da remoção de defeitos de superfícies do material.

Em cada ensaio, o corpo de prova foi imerso em um balão de fundo chato de 250 mL contendo solução de ácido clorídrico $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$ à temperatura de 25°C . Em seguida, o balão foi acoplado a um manômetro para que a variação de volume ocasionada pela liberação de gás hidrogênio gerado na reação entre o ácido e o metal (Figura 4) fosse medida. Desse modo, foi possível observar a evolução da corrosão da peça de alumínio em meio ácido.

Figura 4 – Esquema simplificado da liberação do gás hidrogênio durante o processo de corrosão do Al em meio de HCl (Santos *et al.*, 2012).



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos da cinética de evolução de H_2 correspondentes à cinética de corrosão do alumínio comercialmente puro (Al) e das ligas de alumínio contendo 3% de Cu e 5% de Cu são apresentados nas Figuras 5 e 6, respectivamente. A pressão parcial de hidrogênio no sistema é mensurada pela variação do nível do fluido manométrico (H_2O), valor esse apresentado na ordenada dos gráficos que seguem.

Figura 5 – Cinética de evolução de H_2 à $25^{\circ}C$ em meio de HCl ($0,2 \text{ mol.L}^{-1}$) para o alumínio comercialmente puro (Al), Al-3%Cu CP01 (grãos colunares) e CP07 (grãos equiaxiais).

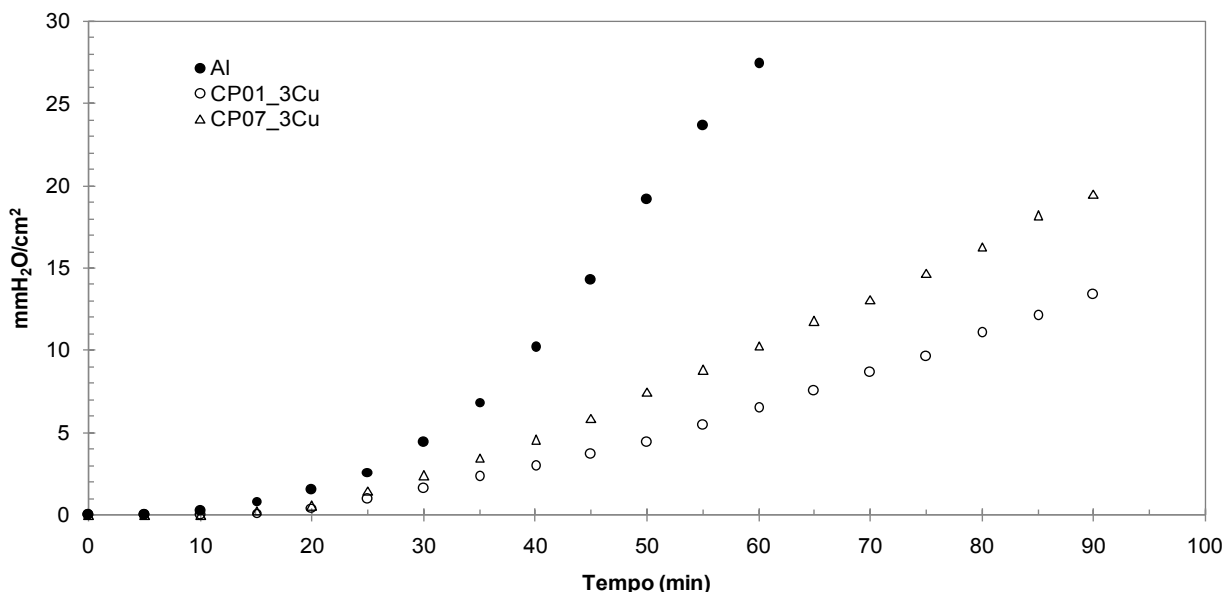
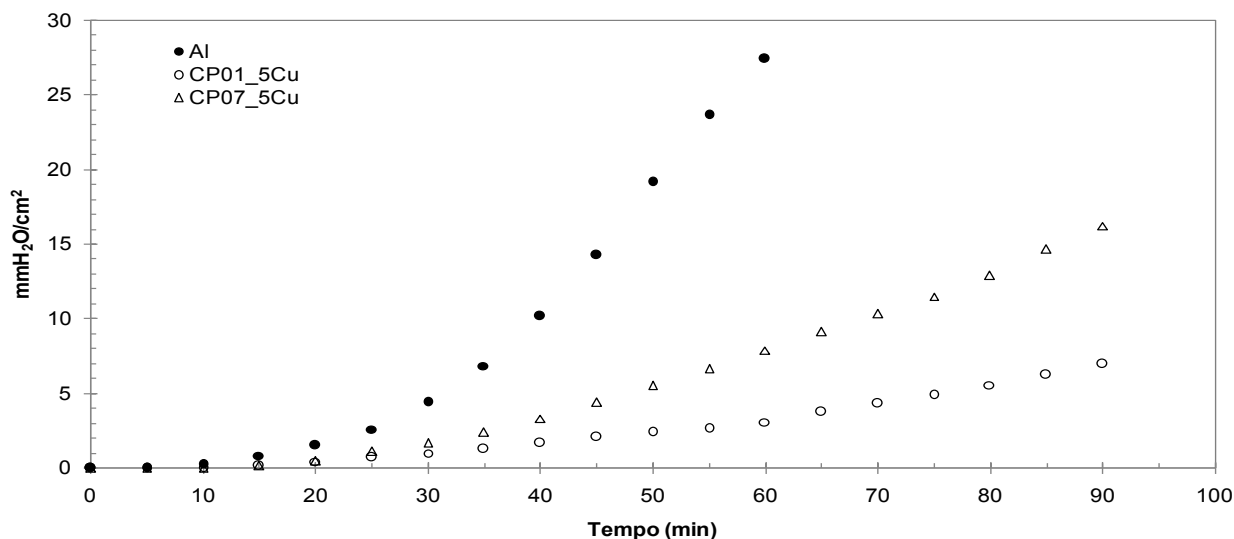


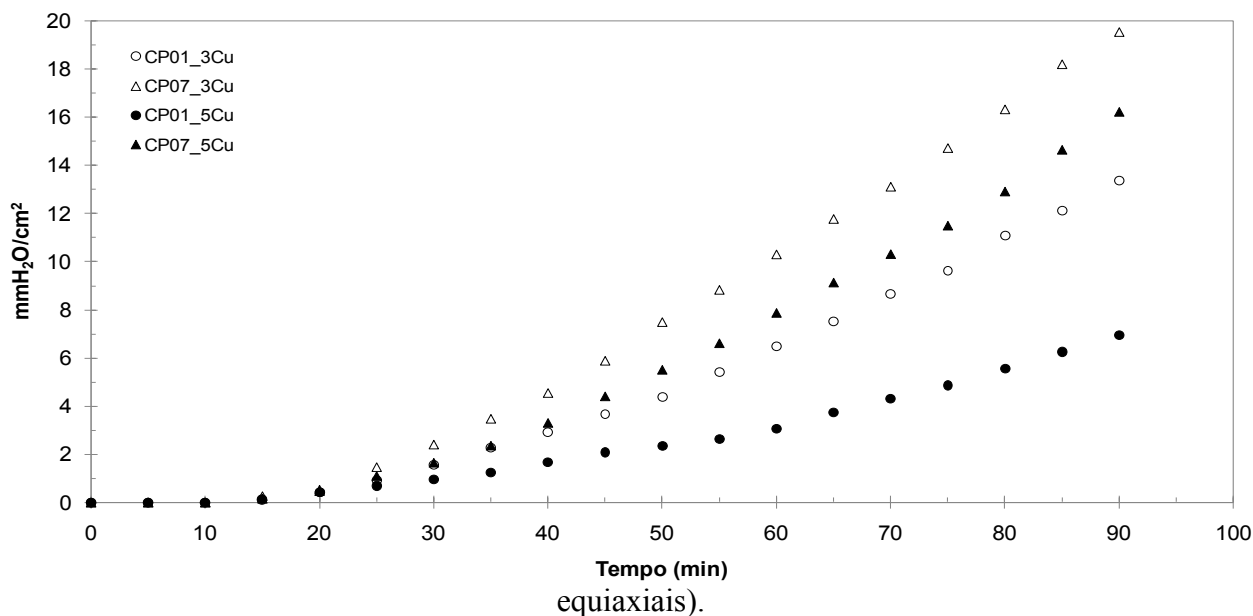
Figura 6 – Cinética de evolução H_2 à $25^{\circ}C$ em meio de HCl ($0,2 \text{ mol.L}^{-1}$) para o alumínio comercialmente puro (Al), Al-5%Cu CP01 (grãos colunares) e CP07 (grãos equiaxiais).



Os resultados de ambas as figuras mostram que a evolução de H_2 ocorre aproximadamente 10 minutos após o início do ensaio, independentemente da presença de Cu. Ou seja, o processo de “quebra” da camada passivadora de Al_2O_3 não está relacionada com teor de Cu na liga metálica. Porém, após o período de 10 minutos, fica evidente que a velocidade de corrosão diminui significativamente com a presença de Cu. Uma evolução exponencial é observada em todas as curvas apresentadas em ambas as figuras.

A influência da macroestrutura das ligas de Al na velocidade de corrosão é observada na Figura 7.

Figura 7 – Cinética de evolução H_2 à 25°C em meio de HCl (0,2 mol.L⁻¹) para as ligas metálicas de alumínio Al-3%Cu e Al-5%Cu CP01 (grãos colunares) e CP07 (grãos



A macroestrutura tem um papel importante na taxa de corrosão. Independente do teor de Cu na liga metálica de Al, as curvas referentes à cinética de corrosão da Figura 7, apontam que nas regiões de grãos equiaxiais (CP07) a velocidade de corrosão é sempre superior à região de grãos colunares (CP01).

4. CONCLUSÃO

Os resultados dos ensaios de corrosão mostraram que a quebra da camada passivadora acontece no mesmo intervalo de tempo (10 min.), independente da presença de Cu e da macroestrutura da liga metálica Al-Cu. A velocidade de corrosão diminui de forma significativa com a presença e o aumento do teor de Cu nas ligas metálicas Al-Cu investigadas e também é influenciada pela macroestrutura, na qual nas regiões de grãos equiaxiais (CP07) a velocidade de corrosão é sempre superior à região de grãos colunares (CP01).

5. REFERÊNCIAS

- ABAL. Associação Brasileira do Alumínio. *História do Alumínio*. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/aluminio/historia-do-aluminio/>>. Acesso em: 25 fev. 2015.
- CALLISTER, W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. São Paulo: LTC, 2002.

- COSTA, T. A. P. S. *Influência dos parâmetros térmicos na formação da microestrutura de ligas ternárias Al-Cu-Si solidificadas direcionalmente*. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- FUENTE, D.; OTERO-HUERTA, E.; MORCILLO, M. Studies of long-term weathering of aluminium in the atmosphere. *Corrosion Science*, v. 49, p. 3134–3148, 2007.
- GARCIA, A. Influência das variáveis térmicas de solidificação na formação da macroestrutura e da microestrutura e correlação com propriedades decorrentes. *Projeções*, v. 23, p. 13-32, jan./dez. 2005.
- OGUZIE, E. E. Inhibiting effect of crystal violet dye on aluminum corrosion in acidic and alkaline media. *Chem. Eng. Comm.*, v. 196, p. 591-601, 2009.
- SANTOS, L.; FERNANDES, L.; CARDOSO FILHO, J.C. Estudo eletroquímico de ligas metálicas alumínio-silício em meio ácido. *V Congresso Internacional do Alumínio*. São Paulo, 2012.
- VARGEL, C. *Corrosion of Aluminium*. 1. ed. San Diego: Editora Elsevier, 2004.