

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL, ELÉTRICA E MECÂNICA DA LIGA AL-CU-FE-SI MODIFICADA COM OS TEORES DE [0,15 E 0,22]%

Carlos Alexandre Cavalcante de Sousa, carlosmec21@gmail.com¹

Tiago dos Santos Antunes, tiagotunes2@gmail.com¹

Gregory de Oliveira Miranda, gregmirandamail@gmail.com¹

Felipe Fernandes da Silva Oliveira, felipefdso@gmail.com¹

Emerson Rodrigues Prazeres, eng.emersonrodrigues@gmail.com¹

José Maria do Vale Quaresma, quaresma@fem.unicamp.br¹

¹ Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá, CP 479, CEP 66075-110, Belém – Pará

Resumo: Devido ao aumento no consumo de energia elétrica ao longo dos anos, faz-se necessário o estudo de novas ligas para serem utilizadas como cabos para a transmissão de energia elétrica a alta tensão. Nesse contexto o alumínio se mostra com grande potencial para ser utilizado, pois possui uma densidade relativamente baixa (aproximadamente 1/3 da do aço), e uma boa resistência mecânica. No presente trabalho foi avaliado o comportamento de uma liga Al-0,05%Cu-0,4%Fe-0,3%Si modificada com os teores de 0,15 e 0,22% de Zr para a transmissão de distribuição de energia elétrica, onde as ligas foram obtidas por solidificação estática direta em coquilha metálica em “U”, tendo como parâmetros o desempenho elétrico (%IACS), mecânico (ensaio de tração) e estrutural para então avaliar o efeito de teores de Zr em suas propriedades. No que diz respeito à condutividade elétrica a liga modificada com 0,15% Zr se mostrou melhor. No que diz respeito à caracterização mecânica a liga com 0,22% Zr foi mais eficiente.

Palavras-chave: Alumínio, Zircônio, Solidificação, LRT.

1. INTRODUÇÃO

As ligas de alumínio termossensíveis são excelentes materiais metálicos para aplicação no transporte de energia, por reunir propriedades como boa condutividade elétrica com extrema leveza. Estas características proporcionam maior capacidade de transmissão de energia, resistência a altas temperaturas sem perda de propriedades físicas e muita economia na montagem, manuseio e manutenção dos sistemas.

Segundo estudo divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2011, a demanda de energia elétrica no Brasil ao longo da década deverá crescer a uma taxa média de 4,8% ao ano, saindo do patamar de consumo total de 456,5 mil giga watts-horas (GWh) no ano de 2010 para 730,1 mil (GWh) em 2020 (CONCEICAO, 2015) [1].

Com a necessidade crescente por demanda de energia, tem-se a criação de novas instalações que ainda se encontram em processo de licitações na Amazônia como Belo Monte, São Luiz do Tapajós, Jirau e Santo Antônio que irão somar suas capacidades individuais a fim de gerar as quantidades de energia suficientes para suprir a demanda nacional. Entretanto, com os níveis requeridos de energia surgem efeitos sobre as linhas de transmissão, que vem a atuar diretamente na deterioração das características mecânicas dos mesmos.

Por conta de todos esses fatores, o Grupo de Pesquisa em Engenharia dos Materiais (GPEMAT) têm estudado os mais variados efeitos do alumínio e suas ligas em busca de melhores resultados para o crescimento acadêmico da comunidade. Neste contexto, o presente trabalho propõe estudar o efeito da variação do elemento de liga Zircônio, nos teores de [0,15; 0,22]%Zr, no comportamento elétrico, mecânico e estrutural da liga Al-0,05%Cu-0,4%Fe-0,3%Si solidificada em coquilhas metálicas.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os títulos e subtítulos das seções devem ser digitados em fonte Times New Roman, tamanho 10, estilo negrito, e alinhados à esquerda. Os títulos das seções são com letras maiúsculas (Exemplo: MODELO MATEMÁTICO), enquanto os subtítulos só têm as primeiras letras maiúsculas (Exemplo: Modelo Matemático). Eles devem ser numerados, usando numerais arábicos separados por pontos, até o máximo de 3 subníveis. Uma linha em branco de espaçamento simples deve ser incluída acima e abaixo de cada título ou subtítulo.

2.1. Fundição e Solidificação

No processo de fundição das ligas, os elementos (Cu, Fe, Si, Zr e Al) foram adicionados ao cadinho e levados a um forno a uma temperatura de 900°C por 4 h, como forma de garantir a fusão completa de todos os elementos.

O sistema operacional adotado para a solidificação das ligas foi o molde em coquilha que consiste em duas paredes de aço que são convenientemente alinhadas e fechadas com parafusos, de modo a se obter uma cavidade de forma cilíndrica com 22 mm de diâmetro. Momentos antes do vazamento o molde é aquecido à temperatura de 250°C, procedimento visando a remoção de umidade interna e para que ocorra preenchimento total do molde pelo metal líquido. O metal líquido é vazado no molde de forma convencional e o preenchimento da cavidade se dá pela ação da gravidade. Depois que a peça solidifica o molde é aberto e a peça é retirada.

2.2 Caracterização Elétrica e Mecânica

Os ensaios elétricos e mecânicos foram realizados em fios com os diâmetros de (2,7; 3,0; 3,8; 4,0) mm obtidos após a usinagem e laminação do corpo de prova obtido no processo de solidificação.

Na caracterização elétrica, os corpos de provas foram submetidos a ensaios com objetivo de se avaliar a resistência elétrica com o auxílio de um multiohmímetro (ponte de kelvin) da marca MEGABRÁS, modelo MPK-2000. Os testes de resistividade elétrica foram realizados segundo as normas NBR 5118, NBR 6814 e NBR 6815.

Após a caracterização elétrica, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio mecânico, em máquina de ensaio de tração da marca KRATOS, modelo IKCL1. Os testes de tração foram realizados segundo as normas para cabos elétricos, NBR 6810, e materiais metálicos, NBR 6892, executando-os em três amostras com 20 cm.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Composição Química

Após a fundição das ligas, foi utilizada a amostra testemunho para efetuar a análise química, podendo assim ser verificada a composição química das ligas em questão. Os resultados da análise química podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química das ligas de alumínio.

Liga	Elementos de Liga (%p)			
	Cobre	Ferro	Silício	Zircônio
Composição do lingote	0,0005%	0,155%	0,058%	0,0003%
Composição liga Al-0,15%Zr	0,045%	0,397%	0,293%	0,147%
Composição liga Al-0,22%Zr	0,048%	0,392%	0,297%	0,218%

3.2 Macroestruturas das ligas com (0,15 e 0,22)% de Zr.

As macroestruturas das ligas estudadas são apresentadas na Figura 1. Na Figura 1(a) nota-se a presença de grãos predominantemente colunares na estrutura do material, porém quando adicionado o maior teor de Zr, como é o caso da Figura 1(b), esses grãos adquiriram configurações diferentes, mostrando que houve uma sensível redução nos grãos colunares e o surgimento de grãos equiaxiais. Segundo Rodrigues (2007) [2], a zona equiaxial é influenciada pela presença de agentes nucleantes, com maior concentração de soluto. Yanagisawa et al. (1956) [3] mostra em seus estudos que o melhor teor para um refinamento de grão se dá a partir de 0,26 % Zr, como as ligas apresentam um teor de Zr mais baixo, ambas não apresentam de forma satisfatória o refinamento de grão.

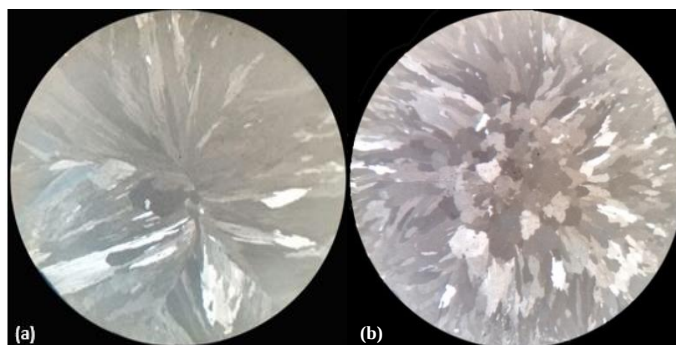


Figura 1. Macrografia da estrutura bruta de fusão: (a) Liga com 0,15% de Zr e (b) Liga com 0,22% de Zr.

3.3 Avaliação da condutividade elétrica das ligas com (0,15 e 0,22)% de Zr.

Observa-se, na Figura 2(b), que o fio com diâmetro de 3,0 mm apresenta o maior valor para a condutividade elétrica. É provável que este comportamento esteja associado ao eficiente fenômeno da recuperação dinâmica do material.

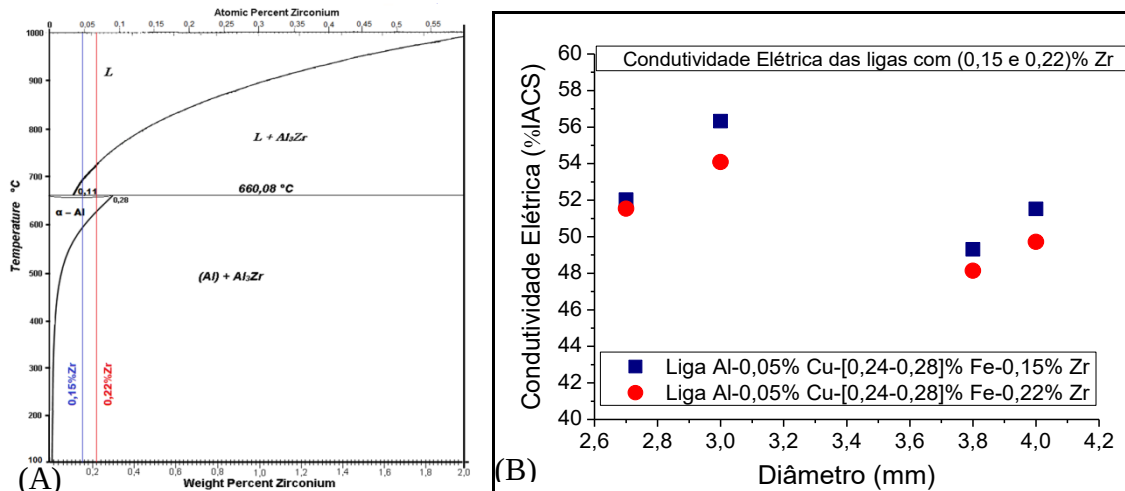


Figura 2. (A) Diagrama de fases Al-Zr (Adaptado de HANDBOOK ASM METALS), (B) Comparação entre a condutividade elétrica das ligas com 0,15% de Zr e com 0,22% de Zr.

Percebe-se, analisando as ligas com Al-0,15%Zr e Al-0,22%Zr (Figura 2), que com o aumento no teor de Zr na liga, há pequena perda na condutividade elétrica, confirmando os estudos propostos por Belov et al.(2009) [4], que afirmam que a medida que aumenta-se a concentração de soluto Zr ocorre um acréscimo na resistividade elétrica, diminuindo assim a condutividade elétrica do material.

3.4 Avaliação do Limite de Resistência a Tração (LRT) das ligas com (0,15 e 0,22)% de Zr.

Assim como na condutividade elétrica, observa-se que o fio com diâmetro de 3,0 mm apresenta o maior valor para o LRT. É provável que este comportamento também esteja associado ao fenômeno da recuperação dinâmica do material. Entretanto, este aspecto também pode ser associado à condição da solidificação em equilíbrio de ligas hipoperitéticas ao produzirem estruturas brutas de fusão na condição de solução solidadas, que podem ser mais saturadas quanto maior for o teor de soluto.

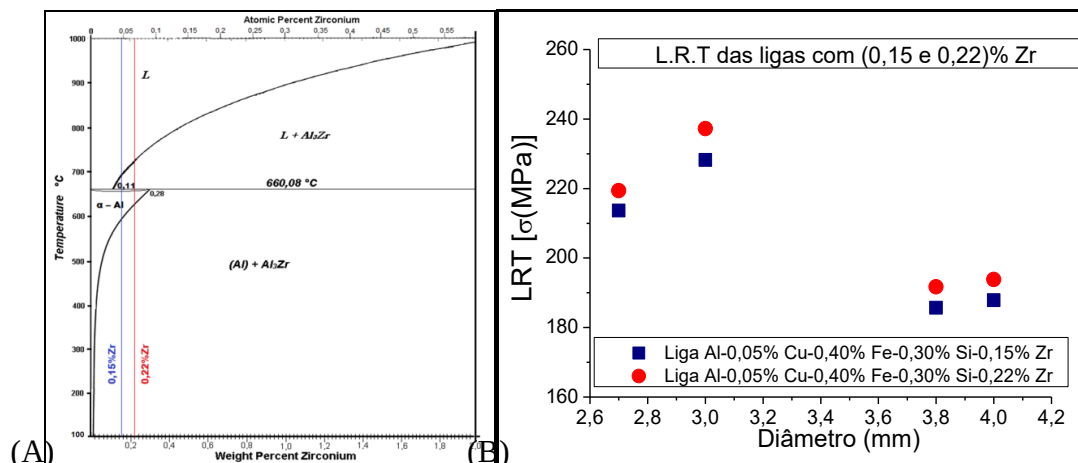


Figura 3. (A) Diagrama de fases Al-Zr (Adaptado de HANDBOOK ASM METALS), (B) Comparação entre o LRT das ligas com 0,15% de Zr e com 0,22% de Zr.

A liga Al-0,15%Zr ao solidificar apresenta em sua matriz solução sólida com menos soluto quando comparada com a liga Al-0,22%Zr. Em consequência a liga Al-0,22%Zr, por apresentar maior concentração de soluto, terá sua matriz na condição de solução sólida saturada e assim tenderá a responder melhor as características mecânicas, como sugere Dias (2015) [5], isso pode ser visualizado na Figura 3B.

4 CONCLUSÕES.

Em relação às macroestruturas das ligas estudadas, notou-se a presença de grãos predominantemente colunares na estrutura do material, porém quando adicionado o maior teor de Zr, houve uma sensível redução nos grãos colunares e o surgimento de grãos equiaxiais.

O fio com diâmetro de 3,0 mm apresenta o maior valor para a condutividade elétrica e para o limite de resistência a tração. É provável que este comportamento esteja associado a matriz de deformação utilizada que contribui para o surgimento do fenômeno da recuperação dinâmica do material.

Na comparação da condutividade elétrica das ligas, percebe-se que com o aumento no teor de Zr, há pequena perda na condutividade elétrica, pois com o aumento da concentração de soluto de Zr ocorre um acréscimo na resistividade elétrica, diminuindo assim a condutividade elétrica do material.

Na comparação do limite de resistência a tração, a liga contendo 0,22% Zr responde melhor as características mecânicas, possivelmente devido a solução sólida de α -Al da liga Al-0,22%Zr ser mais saturado e estar associado a uma etapa de recuperação dinâmica do material.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Universidade Federal do Pará (UFPA) – ITEC - Instituto de Tecnologia/UFPA.

6. REFERÊNCIAS

- Conceicao DC. Estudo do efeito do tratamento térmico sobre uma liga al-cu-fe-si modificada com zr, destinada a Tx e Dx de energia elétrica. Belém. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Pará; 2015.
- Rodrigues JRP. Efeito da Composição nos Parâmetros Térmicos e Estruturais de Ligas Al-Mg Solidificadas Unidirecionalmente. Campinas. Dissertação [Mestrado em Engenharia Mecânica] – Universidade Federal do Pará; 2007.
- Yanagisawa m, Nakamura m, Matsuo s, Amitani t. On the Casting and the Recrystallization of Al and some Al Alloys Containing Zr. Journal of Japan Institute of Light Metals. 1956; No. 20 p.68-75,44.
- Belov NA, Alabin AN, Prokhorov AY. The Influence that a Zirconium Additive has on the Strength and Electrical Resistance of Cold-Rolled Aluminum Sheets. Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2009; Vol. 50, No. 4, pp. 357–362.
- Dias WS. Análise da influência do tratamento térmico na liga Al-0,05%Cu- [0,35 -0,45]%Fe modificada com dois teores de zircônio solidificada em coquilha metálica. Belém. Dissertação [Mestrado em Engenharia Mecânica] – Universidade Federal do Pará; 2015.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho”.

STRUCTURAL, ELECTRICAL AND MECHANICAL EVALUATION OF AL-CU-FE-SI-ALLOY MODIFIED WITH CONTENTS OF [0,15 AND 0,22] %

Carlos Alexandre Cavalcante de Sousa, carlosmec21@gmail.com¹
 Tiago dos Santos Antunes, tiagotunes2@gmail.com¹
 Gregory de Oliveira Miranda, gregmirandamail@gmail.com¹
 Felipe Fernandes da Silva Oliveira, felipefdso@gmail.com¹
 Emerson Rodrigues Prazeres, eng.emersonrodrigues@gmail.com¹
 José Maria do Vale Quaresma, quaresma@fem.unicamp.br¹

¹ Universidade Federal do Pará, Augusto Corrêa Street, 01 - Guamá, CP 479, CEP 66075-110, Belém – Pará

Abstract. Due to the increase in electricity consumption over the years, it is necessary to study new alloys to be used as cables for the transmission of high voltage electricity. In this context aluminum has great potential to be used, as it has a relatively low density (approximately 1/3 of the steel), and good mechanical resistance. In the present work the behavior of an Al-0.05% Cu-0.4% Fe-0.3% Si alloy modified with the contents of 0.15 and 0.22% of Zr for the distribution transmission of (% IACS), mechanical (tensile test) and structural performance in order to evaluate the effect of Zr contents on its constituents. properties. With regard to electrical conductivity, the alloy modified with 0.15% Zr was better. As regards the mechanical characterization the alloy with 0.22% Zr was more efficient.

Keywords: Aluminium, Zirconium, Solidification, U.T.S.

