

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ZR COMO AGENTE MODIFICADOR NA MATRIZ DO Al PARA A FORMAÇÃO DE LIGAS TERMORRESISTENTES ⁽¹⁾

Francisco Andrey Jucá Cavalcante ⁽²⁾

Ulysses Rodrigues do Prazeres ⁽³⁾

Thiago da Cunha Lima ⁽⁴⁾

Aline Emanuelle Albuquerque Moreira ⁽⁵⁾

José Maria do Vale Quaresma ⁽⁶⁾

Resumo

Na busca por melhores desempenhos para a transmissão e distribuição de energia elétrica, diversas ligas de Al vêm sendo desenvolvidas e um especial enfoque é dado para as ligas termorresistentes que tem como elemento característico o Zr. Este artigo fará uma avaliação de propriedades em vários teores de Zr na matriz do Al, objetivando o entendimento da influência deste elemento de liga nas características importantes na fabricação de cabos para fins elétricos. Foram confeccionadas 4(quatro) ligas com os teores de Zr variados em 0,022% 0,024% 0,026% e 0,028% e um teor de Fe constante de 0,240%. Estas ligas foram solidificadas em um molde bi-partido em “U”, gerando um perfil cilíndrico de diâmetro 25,4mm e depois usinado até 11mm e laminado a frio até 4mm e trefilado até 2,89mm(norma *linnet*) a qual foi submetido a ensaios de tração, alongamento e condutividade elétrica antes e após o tratamento térmico a 230°C por 1 hora. Os valores obtidos nos diversos ensaios mostraram um aumento de LRT e estabilidade na condutividade e alongamento mediante o aumento do teor de Zr, após o tratamento de 230°C por 1 hora o LRT e alongamento sofreram queda e a condutividade manteve-se constante, entretanto os resultados foram satisfatórios e mostram-se com características de uma liga termorresistente, podendo produzir cabos para trabalhar com temperaturas de até 150°C sem deteriorização de suas propriedades, aumentando, assim, a potência de operação do cabo.

Palavras-chave: Termorresistividade; Condutividade elétrica; Propriedades mecânicas.

60º Congresso Anual da ABM – 25 a 28 de Julho de 2005 Belo Horizonte - MG

⁽¹⁾ – Trabalho a ser apresentado no 60º Congresso Anual da ABM.

^{(2), (3), (4) e (5)} – Graduados em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Pará.

⁽⁶⁾ – Prof. Dr. – DEM/CT – Universidade Federal do Pará.

INTRODUÇÃO

Sendo o alumínio hoje o principal material utilizado na transmissão e distribuição de energia elétrica, pois de todos os metais não preciosos conhecidos, o alumínio só perde para o cobre em condutividade volumétrica e possui, além disso, uma relação condutividade/peso duas vezes maior que a do cobre e a sua relação resistência/peso é 30 % maior. Torna-se estratégico para o progresso tecnológico desta atividade, que estudos sejam realizados de forma a buscar minimizar as perdas energéticas durante a operação paralelamente a baratear a manutenção das instalações.

Este artigo fará uma investigação quanto a propriedades elétricas e mecânicas de 4(quatro) ligas Al-Fe-Zr produzidas em laboratório visando atingir características de termorresistividade, gerando assim um material mais adequado para o uso em climas tropicais onde as temperaturas de trabalho das linhas de transmissão e distribuição atingem valores elevados, prejudicando sensivelmente a performance dos cabos tradicionais em virtude da maior sensibilidade à fluência e recozimento, limitando assim a potência de transmissão.

A proposta para desenvolvimento deste estudo partiu do projeto de parceria que existe entre o Grupo ALUBAR, FADESP e UFPA, que através do GPEMAT (Grupo de Pesquisa em Engenharia dos Materiais), desenvolve pesquisas sobre a influência de elementos ligantes na matriz do Al para fins elétricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram fundidas em laboratório quatro ligas a partir do Al comercialmente puro a qual foi adicionado 0,24% de Fe e mantido constante em todas as ligas em quanto que o Zr foi variado nos seguintes teores 0.022%, 0.024%, 0.026% e 0.028% que correspondem às ligas A, B, C e D respectivamente, as composições foram confirmadas em um espectrômetro de massa SPECTRO.

As ligas foram solidificadas em molde em "U" bi-partido de aço com diâmetro interno de 25 mm e temperatura de vazamento de 750°C, a peça fundida foi usinada para o diâmetro de 11 mm e comprimento 250 mm e então laminada a frio até 4 mm para depois ser trefilada até 2,89 mm(norma *linnet* para cabos termorresistentes).

Em amostras de fios de cada liga foi realizado tratamento térmico a 230°C por 1 hora, de forma a se analisar a variação das propriedades com esse tratamento. Os ensaios de tração e alongamento foram efetuados em uma máquina de tração KRATOS modelo IKCL1-USB com repetibilidade de três amostras (amostragem padrão da ALUBAR) e condutividade elétrica em uma ponte de kelvin MEGABRÁS modelo MPK-2000 foram executados em amostras de cada liga com e sem o tratamento térmico, estes ensaios foram realizados no laboratório de controle de qualidade da ALUBAR CABOS SA.

RESULTADOS

Os ensaios de tração realizados tiveram os resultados dispostos abaixo em forma de tabela e gráfico para os fios não tratados e tratados por 1h a 230°C:

Tabela 1. Resultados do ensaio de tração das ligas tratadas e não tratadas.

MPa	A	B	C	D
Liga Não Tratada	146,37	152,25	154,4	148,4
Liga Tratada	135,73	139,28	135,85	141,42

Os dados obtidos foram expressos em forma de gráfico para evidenciar uma tendência com o aumento do teor de Zr:

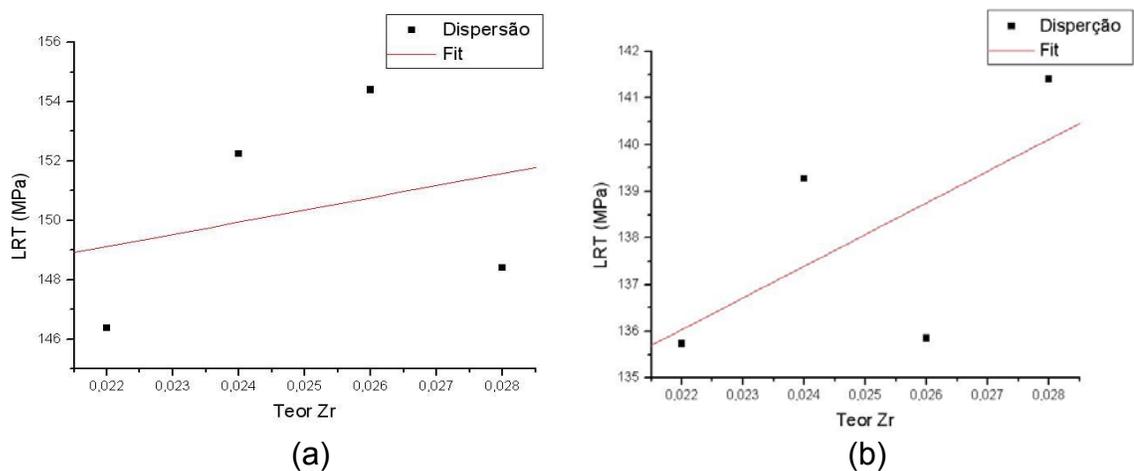


Figura 1. Gráfico do LRT X Teor de Zr nas ligas não tratadas (a) e tratadas (b).

Os Resultados dos ensaios de condutividade elétrica efetuados à temperatura ambiente serão mostrados a seguir em forma de tabela e gráfico para todas as ligas com e sem o tratamento térmico.

Tabela 2. Valores de condutividade elétrica das ligas tratadas e não tratadas.

IACS	A	B	C	D
Liga Não Tratada	60,28	60,22	59,8	59,8
Liga Tratada	60,63	59,82	60,26	59,76

Os valores de condutividade elétrica estão expressos em IACS que representa a porcentagem de condutividade atingida em relação ao Cu que é tido como padrão, 100 IACS corresponde à condutividade do Cu.

Os dados de condutividade foram expressos abaixo em gráfico para evidenciar possível tendência em função do teor de Zr.

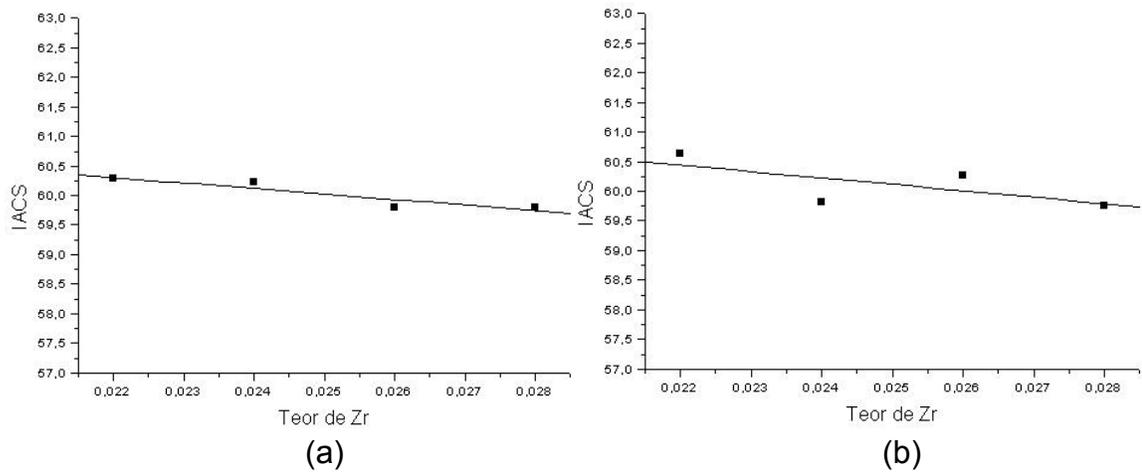


Figura 2. Condutividade em função do teor de Zr para ligas não tratadas(a) e tratadas(b).

Os valores de alongamento, em média de três análises das diversas ligas com e sem tratamento térmico estão dispostos a baixo em forma de tabela e gráfico:

Tabela 3. Valores de alongamento das ligas tratadas e não tratadas.

	A	B	C	D
Liga Não Tratada	2,68%	2,96%	2,95%	2,76%
Liga Tratada	2,42%	2,57%	2,34%	2,38%

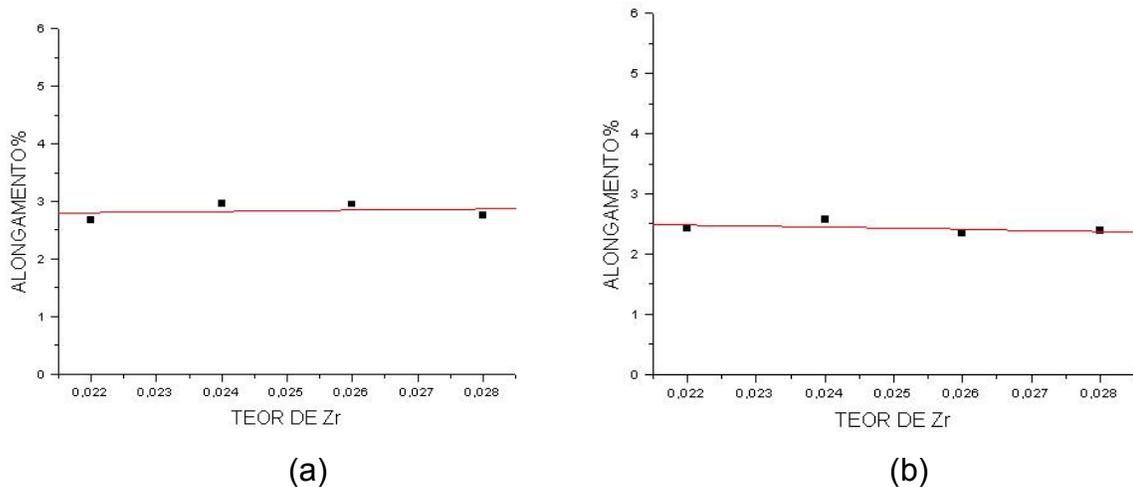


Figura 3. Variação do alongamento com o teor de Zr sem tratamento (a) e com tratamento térmico (b).

DISCUSSÕES

A liga TAL diferencia-se pelas características de recozimento e fluência em altas temperaturas que são significativamente melhores em relação à liga convencional de

alumínio 1350(EC), assim um cabo de liga TAL pode transportar mais energia em regime contínuo de operação do que um cabo convencional de alumínio 1350. ⁽¹⁾

Os condutores de alumínio convencionais 1350(EC) podem operar em um regime contínuo de trabalho a uma temperatura máxima de 90°C, pois acima desta inicia-se o processo de recozimento e conseqüente deterioração de características mecânicas. Com o desenvolvimento da liga TAL, ampliou-se esta limitação mediante temperaturas de trabalho de até 150°C sem deterioração de características como tração alongamento e dureza. ⁽²⁾

Os resultados dos ensaios de tração mostram nítido aumento do LRT mediante o aumento do teor de Zr tanto nas amostras sem o tratamento como nas tratadas termicamente, as amostras onde houve quedas inesperadas de LRT provavelmente foram causadas por algum defeito interno ocorrido durante a confecção do CP's, mas sem inviabilizar a percepção da tendência aumento já esperada, uma vez que estudos anteriores realizados pelo GPEMAT em teores diferentes dos analisados neste artigo evidenciaram aumento da dureza e LRT mediante a maior presença do Zr na matriz do Al.

A perda de LRT ocasionada pelo tratamento térmico em virtude de sensível alívio de tensões do processo fabricação que gera grande nível de encruamento com a trefilação é um fenômeno esperado e que esteve dentro da expectativa para uma liga termorresistente, pois este foi na ordem de 8%; Este tratamento foi idealizado com base num teste proposto pela COPEL (Companhia Paranaense de Energia) onde as ligas de alumínio termorresistentes não deverão perder mais que 10% de LRT quando submetidos a tratamento térmico de 230°C por 1 hora. ⁽³⁾

A termorresistividade conferida ao Al pela inserção do Zr deve ser causada por uma especial capacidade deste elemento ligante de “frear” o movimento das discordâncias e desfavorecer o recozimento e uma possível recristalização da estrutura, elevando assim a temperatura de início desses processos, conferindo dessa forma maior confiabilidade a projetos de linhas de transmissão e distribuição confeccionadas nesse material.

Embora não seja uniforme a variação da temperatura de início de recristalização com a presença maior de soluto, para baixos teores como o estudado nas ligas produzidas, um aumento do teor do soluto espera-se um aumento na temperatura de início de recristalização, isso se deve ao fato dos átomos de adição serem facilmente atraídos pelas discordâncias, formando a atmosfera Cottrell. Estas atmosferas mescladas impedem a redistribuição de discordâncias, que é indispensável para a formação dos núcleos de recristalização, freando não apenas o surgimento, mas também o crescimento de núcleos de recristalização. Isto porque elas são atraídas para os contornos dos núcleos ⁽⁴⁾, este entendimento torna-se importante, pois para a faixa de pureza do Al comercial, a temperatura de recristalização estimada é em torno de 240°C que é bem próximo da temperatura de tratamento.

O efeito comparativo de valores de LRT encontrados para as quatro ligas produzidas antes e depois do tratamento térmico que, foi de uma queda pouco acentuada, estiveram de acordo com ensaios realizados pela FURUKAWA que mostra o efeito comparativo do tratamento térmico na liga TAL e no Al 1350(EC) para diferentes temperaturas e tempo de tratamento; Estes resultados confirmam a maior

capacidade da liga TAL em manter sua integridade em temperaturas elevadas, conforme mostrado abaixo. ⁽⁵⁾

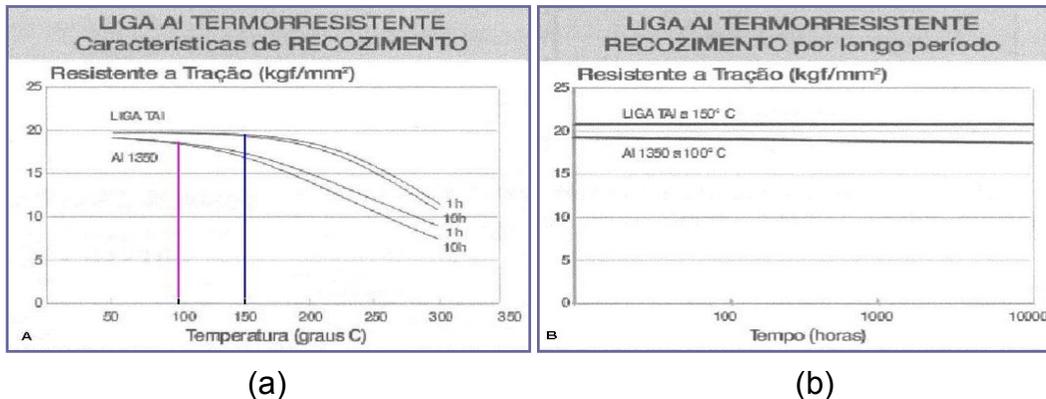


Figura 4. Resposta do LTR com a temperatura para dois tempos de tratamento (a) e LRT em função do tempo de tratamento (b).

Note que na Figura 4-(a), torna-se visível que a perda de LRT é na liga TAL é mínima até 150°C em quanto que na liga 1350 isso se inicia antes de 100°C, este gráfico justifica o teste de 230°C por uma hora proposto pela COPEL já que ele deflagra perda de LRT gerada pelo recozimento no material, podendo assim confirmar ou não um comportamento termorresistente.

Os valores de alongamento encontrados para os diferentes teores de Zr mantiveram-se estáveis e torno de 2,83% sem tratamento e em 2,42% nas ligas tratadas, evidenciando estabilidade mediante o tratamento e proximidade de valores de alongamento obtidos para o Al 1350.

Nos ensaios de condutividade elétrica notou-se um discreto aumento da resistividade mediante o aumento de teor de Zr tanto nas ligas tratadas como não tratadas termicamente, isso se deve pela maior presença de átomos solutos que tendem a dificultar a passagem dos elétrons mediante a diminuição do seu caminho livre médio, ⁽⁶⁾ mas que se manteve em valores bastante próximos (60,07IACS) em comparação com cabos de alumínio com alma de aço que deve ser de pelo menos 60,6IACS. ⁽⁷⁾

Em virtude da união de todas essas características que identificam a liga Tal, teremos uma liga que traz grandes avanços para a capacidade de transmissão de energia elétrica conforme constata a tabela a seguir, onde é comparada a corrente de operação para a liga 1350 e TAL. ⁽⁸⁾

Tabela 4. Corrente de trabalho para liga TAL e 1350.

Cabo	Secção	Área de Alumínio (mm ²)	Área total do condutor (mm ²)	Diâmetro externo (mm)	Temp. de Proj. (°C)	I (A)
Linnet Al 1350	336,4 MCM	170,30	198,0	18,29	75	356
Linnet TAL	336,4 MCM	170,30	198,0	18,29	150	516

CONCLUSÃO

As quatro ligas produzidas apresentaram resultados satisfatórios quanto à aplicação em cabos de transmissão e distribuição de energia elétrica mediante bons valores de condutividade, tração e alongamento em comparação com o alumínio 1350 que é tradicionalmente utilizado para este fim. Os cabos apresentaram características de uma liga termorresistente, sendo assim uma liga de especial importância para o uso em países de clima tropical como o Brasil onde o aquecimento demasiado dos cabos acaba por limitar a sua capacidade de transmissão e diminuir a vida útil.

O aumento do teor de Zr acarretou em aumento do LRT, leve diminuição da condutividade elétrica e estabilidade no alongamento, sendo que estas tendências foram evidenciadas tanto antes como após o tratamento térmico.

O tratamento térmico à 230°C por 1 hora apresentou resultados animadores pois as perdas de LRT gerada pelo recozimento da liga foi na ordem de 8%, que satisfaz as expectativas para uma liga termorresistente.

Este artigo gera dados que auxiliam na escolha de melhores teores do elemento ligante Zr para a fabricação de cabos termorresistentes, que é de grande interesse para indústrias fabricantes de cabos na escolha da composição que trará melhores propriedades à liga X custos com compra do elemento de liga.

Agradecimentos

É importante demonstrar o sincero agradecimento à Universidade Federal do Pará, ao GRUPO ALUBAR pela parceria e incentivo, a FADESP que gerencia a parceria e ao grupo GPEMAT que trabalha continuamente para o progresso da ciência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 S. Ueda e A. Fukumoto, Liga de alumínio termorresistente, SALTEE'96/Belo Horizonte, OUT/1996.
- 2 NEXANS – Normas; Cabos de Alumínio Termorresistentes.
- 3 COPEL-Companhia Paranaense de Energia.
- 4 Novikov, Iliia – Teoria dos Tratamentos Térmicos dos Metais; Rio de Janeiro: UFRJ 1994.
- 5 FURUKAWA – Informativo Técnico nº3; 1999
- 6 Van Vlack, Lawrence Hall – Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais, Rio de Janeiro: Campos 1984.
- 7 NBR 7272/1988 - ABNT
- 8 Nascimento C. A. M. - Metodologia experimental para utilização de cabos termorresistentes (TAL) em linhas e redes de distribuição, UFMG.

EVALUATION OF THE Zr INFLUENCE AS MODIFYING AGENT ON AL MATRIX TO FORMATION OF HEAT RESISTANT ALLOYS⁽¹⁾

Francisco Andrey Jucá Cavalcante ⁽²⁾

Ulysses Rodrigues do Prazeres ⁽³⁾

Thiago da cunha lima ⁽⁴⁾

Aline Emanuelle Albuquerque Moreira ⁽⁵⁾

José Maria do Vale Quaresma ⁽⁶⁾

Abstract

Looking for better acting to electric energy transmission and supply, several aluminium alloys are being developed giving a special focus to heat resistant alloys with Zr content. This work do properties evaluate in several Zr contents on aluminium matrix, driving to understanding about influence these chemical element on importants characteristics to cables production to electric purpose. Four alloys were made with 0.022, 0.024, 0.026, 0.028 Zr (wt %) contents and constant value of 0.24Fe (wt %) content. These alloys were solidifying on mold in form of "U", which was obtained a cylindrical specimen with 25.4mm of diameter, after this specimen was cold rolling until 4mm of diameter and drawn until 2.89mm (*linnet norm*) which was submitted at stretching, elongation and electric conductivity test before and after the heat treatment at 230°C for 1 h. The values obtained on several tests showing an increase on LRT (tensile limits) and stability on conductivity and elongation when Zr content increased, and the values obtained after heat treatment at 230°C for 1 h both the LRT (tensile limits) and elongation decreased and conductivity stayed constant, however the results were satisfactory and showing characteristics heat resistant, being able to production cables to work at temperature of even 150°C without properties decay these alloys, increasing, like this, energy power of cable operation.

Key-words: Heat resistant; Electric conductivity; Mechanical properties.