



**Franciele Braga Machado Túlio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)**

A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias 4

Atena
Editora
Ano 2020





**Franciele Braga Machado Túllio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)**

A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias 4

Atena
Editora
Ano 2020



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A642 A aplicação do conhecimento científico nas engenharias 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Túllio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020. – (A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-911-0

DOI 10.22533/at.ed.110201301

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovação. I. Túllio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga. III. Série.

CDD 620.0072

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 4” apresenta dezesseis capítulos em que os autores abordam pesquisas científicas e inovações tecnológicas aplicadas em diversas áreas de engenharia.

A pesquisa científica é a principal ferramenta para produzir conhecimento e inovação para uso da sociedade.

Esta obra apresenta diversos textos científicos que abordam temas ligados a engenharia aeroespacial, que buscam melhorar materiais, equipamentos e métodos aplicáveis a evolução nessa área do conhecimento.

Diversas aplicações da matemática, estatística e computação também são exploradas pelos pesquisadores nesta obra.

Esperamos que o leitor se deleite nas pesquisas selecionadas e que estas possam contribuir para a produção de ainda mais pesquisas. Boa Leitura!

Franciele Braga Machado Túllio

Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A RELEVÂNCIA DA PRODUÇÃO ACADÊMICA E PESQUISA CIENTÍFICA NO ENSINO SUPERIOR DOS CURSOS DE ENGENHARIA	
Fabiano Battemarco da Silva Martins Patrícia Guedes Pimentel Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega	
DOI 10.22533/at.ed.1102013011	
CAPÍTULO 2	17
APLICATIVO DEDICADO AO DIMENSIONAMENTO DE PARAQUEDAS	
Rafael Andrade E Silva Maurício Guimarães da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.1102013012	
CAPÍTULO 3	26
APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS NA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DE SOJA NO ESTADO DO TOCANTINS ATÉ 2025	
Laina Pires Rosa Leandra Cristina Crema Cruz Pedro Alexandre da Cruz	
DOI 10.22533/at.ed.1102013013	
CAPÍTULO 4	39
APPROACH PROPOSAL FOR CRITICAL SOFTWARE PROCESSES SELECTION FOR SPACE PROJECTS IN VERY SMALL ENTITIES (VSE)	
Gledson Hernandes Diniz Ana Maria Ambrosio Carlos Henrique Netto Lahoz Benedito Massayuki Sakugawa	
DOI 10.22533/at.ed.1102013014	
CAPÍTULO 5	48
APRIMORAMENTO DE UM MÉTODO DE PREDIÇÃO DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS MILITARES E ESPACIAIS	
Carlos Eduardo da Silva Santos Ana Paula de Sá Santos Rabello Marcelo Lopes de Oliveira e Souza	
DOI 10.22533/at.ed.1102013015	
CAPÍTULO 6	57
CADEIA DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO NO BRASIL EM UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	
Pedro Henrique Beghelli Josiane do Socorro Aguiar de Souza Oliveira Campos Maria Vitória Duarte Ferrari	
DOI 10.22533/at.ed.1102013016	

CAPÍTULO 7 77

CORTADOR DE GRAMA AUTOMATIZADO

João Vitor Silveira Cercená
Ana Carolina Marcelo da Silva
Luiz Gustavo de Souza Soares
Vaime Trescher de Morais Junior

DOI 10.22533/at.ed.1102013017

CAPÍTULO 8 86

EFEITO DA ADIÇÃO DE 0,15%ZR E DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL NA LIGA AL-6%MG NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Beatriz Seabra Melo
Natália Luiza Abucater Brum
Vinicius Silva dos Reis
Victor Lima Melo
Mateus José Araújo de Souza
Carlos Vinicius de Paes Santos
Marielle Maria Medeiros Vital
Adriano Aleixo Rodrigues
Denyson Teixeira Almeida
Altino dos Santos Fonseca
Emerson Rodrigues Prazeres
José Maria do Vale Quaresma

DOI 10.22533/at.ed.1102013018

CAPÍTULO 9 99

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO AMBIENTE ORGANIZACIONAL DE UMA EMPRESA DE EQUIPAMENTOS DA ÁREA DE SAÚDE

Larissa de Carvalho
Daniele Martins de Almeida
Rubya Vieira de Mello Campos
Rony Peterson da Rocha

DOI 10.22533/at.ed.1102013019

CAPÍTULO 10 110

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA PARA O EMPREGO DE MADEIRAS “ALTERNATIVAS” EM ESTRUTURA TRELIÇADA (BANZOS PARALELOS) PARA COBERTURA (TELHADO DE AÇO – INCLINAÇÃO 10°), COM VÃOS ENTRE 16 A 26 METROS

Allan Christian Alves da Luz
Roberto Vasconcelos Pinheiro
André Luís Christoforo
Francisco Antônio Rocco Lahr

DOI 10.22533/at.ed.11020130110

CAPÍTULO 11 125

METODOLOGIA DE PESQUISA PARA ENGENHARIAS

Ricardo Junior de Oliveira Silva
Dayse Mendes
Jéssika Alvares Coppi Arruda Gayer

DOI 10.22533/at.ed.11020130111

CAPÍTULO 12	132
PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO: UMA VISÃO GERAL DOS MÉTODOS DE SOLUÇÃO	
Márcia de Fátima Morais	
Rony Peterson da Rocha	
Larissa de Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.11020130112	
CAPÍTULO 13	147
SATELLITE TELEMETRY AND IMAGE RECEPTION WITH SOFTWARE DEFINED RADIO APPLIED TO SPACE OUTREACH PROJECTS IN BRAZIL	
David Julian Molano Peralta	
Douglas Soares dos Santos	
Auro Tikami	
Walter Abrahão dos Santos	
Edson Wander do Rego Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.11020130113	
CAPÍTULO 14	165
SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DE ACESSO EM AMBIENTE ESCOLAR PARA CONTROLE DE SEGURANÇA	
Gleison Stopassola	
Alexandre Dalla'Rosa	
DOI 10.22533/at.ed.11020130114	
CAPÍTULO 15	174
TESTE EM COMPONENTE CRÍTICO DE USO ESPACIAL: ENSAIO DE DOSE IONIZANTE TOTAL, (TID - TOTAL IONIZING DOSE) EM TRANSISTORES 2N2222A	
Bruno Carneiro Junqueira	
Silvio Manea	
Rafael Galhardo Vaz	
Odair Lelis Gonzalez	
DOI 10.22533/at.ed.11020130115	
CAPÍTULO 16	185
UM BREVE ESTUDO SOBRE AS CÔNICAS E SUAS APLICAÇÕES	
Wendell de Queiróz Lamas	
Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia	
DOI 10.22533/at.ed.11020130116	
SOBRE OS ORGANIZADORES	199
ÍNDICE REMISSIVO	200

EFEITO DA ADIÇÃO DE 0,15%Zr E DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL NA LIGA AL-6%MG NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Data de aceite: 03/12/2019

Beatriz Seabra Melo

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

Natália Luiza Abucater Brum

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

Vinicius Silva dos Reis

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

Victor Lima Melo

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

Mateus José Araújo de Souza

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

Carlos Vinícius de Paes Santos

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

Marielle Maria Medeiros Vital

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

Adriano Aleixo Rodrigues

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

Denyson Teixeira Almeida

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

Altino dos Santos Fonseca

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

Emerson Rodrigues Prazeres

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

José Maria do Vale Quaresma

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará

RESUMO: A utilização do Zircônio como elemento de liga é um tema frequentemente estudado pela literatura em geral, tendo em vista a necessidade do aumento da resistência mecânica das ligas fundidas aplicadas na indústria aeronáutica, automobilística e aeroespacial. Portanto, este trabalho objetiva analisar o efeito da adição do teor de 0,15% de Zr na liga base Al-6%Mg, para o sistema 5xxx, bem como o tratamento térmico de envelhecimento artificial realizado. Para tanto, a liga foi fundida em moldes que representam uma secção da roda properzi. Em seguida, o mesmo foi cortado transversalmente em uma serra de fita obtendo assim, amostras que passaram por tratamento térmico na temperatura de 400°C por 16 horas. Após ao tratamento térmico, as amostras passaram por processos de lixamento e polimento, com o intuito de obter a sua microestrutura. Os resultados obtidos nessa etapa mostram que no Zr potencializou o refino dos grãos. A segunda etapa deste referente trabalho, consiste nos testes de limite de resistência à tração e alongamento após ao

trabalho mecânico a frio, para a caracterização mecânica do material. Os resultados mostram que no teor de 0,15%Zr ocasionou perda de limite de resistência à tração e ganhos no alongamento. Entretanto, após ao tratamento térmico a liga obteve maior resistência à tração, provavelmente devido a formação de precipitados de Al_3Zr . Nas curvas de tensão deformação das ligas, foram observados serrilhas ou oscilações na zona plástica do material, que correspondem ao Efeito de Portevin Le Chatelier.

PALAVRAS-CHAVE: Zircônio, Refino de grãos, Limite de Resistência à tração.

EFFECT OF THE ADDITION OF 0.15% ZR AND THE TREATMENT OF ARTIFICIAL AGING IN THE AL-6% MG ALLOY ON MECHANICAL PROPERTIES

ABSTRACT: The use of Zirconium as an alloying element is a subject frequently studied in the literature in general, considering the need to increase the mechanical strength of molten alloys applied in the aeronautical, automotive and aerospace industries. However, this work aims to analyze the effect of the addition of the content of 0.15% of Zr in the base alloy Al-6% Mg, 5xxx system and cold formed, as well as the heat treatment of artificial aging. For this purpose, the alloy was fused in mold which represent a section of the properzi wheel. Thereafter, it was cut transversely into a band saw, thereby obtaining samples which were heat-treated in the temperature of 400°C for 16 hours. After the heat treatment, the samples passed through sanding and polishing processes, in order to obtain its macrostructure. The results obtained in this step show that the Zr potentiated the refining of the grains. The second stage of this work consists of tests of tensile strengt and elongation after cold mechanical work, for the mechanical characterization of the material. The results show that the content of 0.15%Zr caused loss of ultimate tensile strength and elongation gains. However, after the heat treatment the alloy obtained a higher Ultimate Tensile Strength, probably due to the formation of Al_3Zr precipitates. In the Stress x Strain curves of the alloys, sawdust or oscillations were observed in the plastic zone of the material, corresponding to the Portevin-Le Chântelier effect.

KEYWORDS: Zirconium, Grain Refining, Ultimate Tensile Strength.

1 | INTRODUÇÃO

O alumínio está presente em quase tudo, quando relacionado a tecnologia, e em grande quantidade de aplicações, o que prova a importância do estudo para a vida moderna, e a expectativa de uso sob melhor perspectiva ambiental, para a vida futura. Sabe-se que o alumínio na sua forma pura não possui boas propriedades mecânicas, sendo utilizado na forma de ligas quando essas propriedades são requisitos essenciais (TOTTEM e MACKENZIE, 2003). As ligas de alumínio vêm sendo muito utilizadas nas indústrias devido as suas propriedades peculiares como: alta resistência mecânica, reciclabilidade, dentre outras propriedades específicas (FERRARI, 2008).

No que diz respeito às ligas com crescentes aplicações na indústria automobilística e aeronáutica, destaca-se as ligas da série 5XXX, que contém o magnésio como principal elemento de liga. O Mg é um dos poucos elementos com alta solubilidade sólida no alumínio, sendo sua máxima solubilidade em torno de 15% a 450°C, embora esta solubilidade se aproxime de zero a 20°C. O efeito primário resultante das adições de Mg em Al é o endurecimento por solução sólida (KAUFMAN e ROOY, 2015). A combinação deste elemento em solução e trabalho a frio, é extremamente eficaz na obtenção de maior resistência (TOTTEM e MACKENZIE, 2003).

O efeito PLC, que mostra a característica da faixa de deformação não homogênea e repetidas deformações, têm sido comumente observadas no estado de solução sólida em ligas de Al-Mg (MA et al., 2015). Segundo estudos (KANG et al., 2012) pesquisas na literatura a respeito do efeito de PLC em diferentes composições químicas de Mg têm sido focadas nas diversas taxas de deformação e contorno de grãos.

Outro elemento bastante utilizado em ligas de alumínio é o zircônio, seu uso tem como objetivo aumentar a temperatura de recristalização e controlar a estrutura dos grãos trabalhados. Segundo a literatura AST INTERNATIONAL (1996) adições de 0,1% a 0,3% de Zr em ligas de alumínio geram, mediante o tratamento térmico, precipitados refinados de partículas intermetálicas, que aumenta a temperatura de recuperação e recristalização do material.

Portanto, avaliou-se o efeito do Zr nas propriedades da liga base: Al-6%Mg. As propriedades mecânicas avaliadas foram o limite de resistência à tração (LRT) e o alongamento, quando adicionado 0,15% de Zr na liga base, nas condições sem tratamento térmico e com tratamento térmico de envelhecimento artificial. Adicionalmente, verificou-se o Efeito de Portevin – Lê Chatelier, através das curvas de tensão x deformação.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

As ligas foram confeccionadas utilizando alumínio eletrocondutor (Al-EC), o elemento magnésio comercialmente puro, e zircônio que foram obtidos através da liga Al-10%Zr. As frações mássicas dos elementos utilizados na liga Al-6%Mg e Al-6%Mg-0.15%Zr foram determinadas através de cálculos estequiométricos e uma balança de precisão.

A fusão dos metais foi realizada em um forno tipo mufla (Figura 1a), e após constatada a fusão de toda a massa metálica presente no cadinho de carvão de silício utilizado, efetuou-se a agitação mecânica da massa fundida de modo manual auxiliado por uma espátula de aço com uma solução alcalina com o intuito de

promover a homogeneização no material.

Após homogeneização realizou-se a injeção de gás inerte (argônio) na liga fundida (Figura 1b) para remover gases e impurezas de baixa densidade, que são segregados formando uma camada de escória sobre a superfície do banho, a qual foi imediatamente removida por espátula de aço pintada com solução de caulino. A moldagem foi iniciada com a retirada da amostra para análise química (amostra de controlo) como mostrado na Figura 1c.

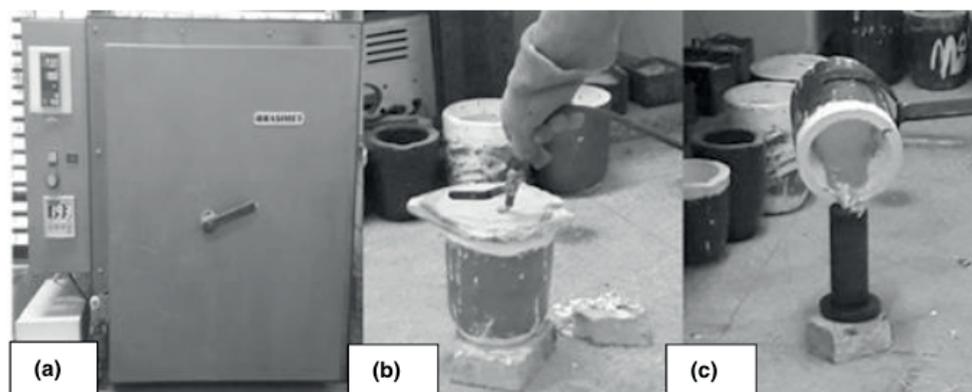


Figura 1. (a) Forno utilizado para a solidificação das ligas; (b) injeção de gás argônio (c) obtenção da amostra para análise química.

2.1 Molde de solidificação

O molde utilizado é constituído por cobre e representa um seguimento do molde de lingotamento contínuo do sistema rotativo Properzi. A fim de simular o que ocorre no processo real, o seguimento do sistema rotativo Properzi é condicionado em água, de tal modo que o molde fique circundado completamente de água. A Figura 2, apresenta todas as etapas do processo de vazamento no molde de cobre.

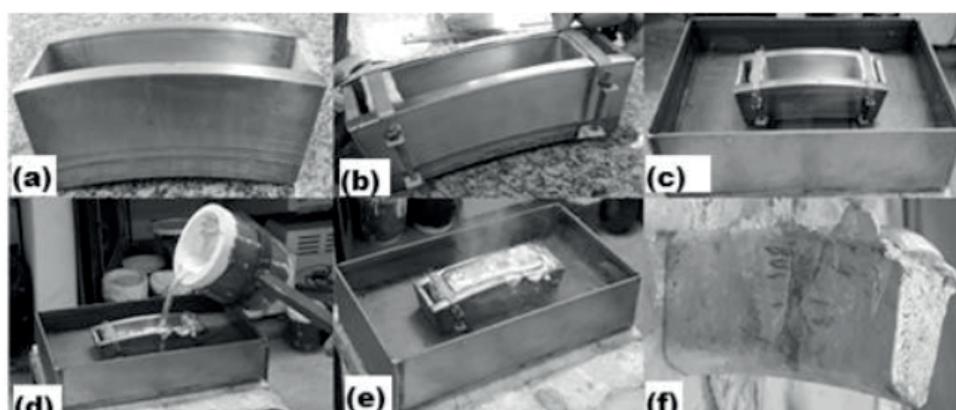


Figure 2. (a) Molde de cobre (b) Molde após a vedação lateral (c) molde imerso em água (d) Vazamento da liga no molde de cobre (e) Resfriamento do lingote (f) lingote após resfriamento.

A partir da amostra que foi solidificada em um molde apropriado, efetuou-se a análise química no espectrômetro óptico, onde os resultados são obtidos a partir da média de pelo menos três leituras da composição química da amostra.

2.3 Obtenção dos corpos de prova

Através da serra fita, os lingotes foram cortados de forma longitudinal, de tal modo que se obtenham no formato prismático – (Figura 3 a e b). Em seguida, foram usinadas um total de 4 amostras, para cada liga e condição utilizada até ao diâmetro de 9.5 mm - (Figura 3 c). Uma parte das amostras usinadas com o diâmetro de 9.5 mm foram utilizadas para a laminação e as outras amostras foram usinadas a fim de atender os pré-requisitos de geometria dos corpos de prova do ensaio de tração, previstos na norma NBR 7549 (2008).



Figura 3. (a) Desenho esquemático demarcando a região de obtenção dos corpos de prova (b) lingote previamente demarcado e após retirada dos tarugos (c) corpos de prova pós usinagem.

2.3 Obtenção dos corpos de prova

O tratamento térmico foi realizado na temperatura de 400°C durante 16 horas tanto na liga base – (Al-6%Mg), quanto na liga adicionada com Zr – (Al-6%Mg-0,15%Zr). A intervenção térmica efetuada tem por finalidade, na liga Al-6%Mg-0.15%Zr, promover a formação de precipitados de trialumineto de zircônio (Al_3Zr), paralelo a esse efeito, deseja-se manter o magnésio em solução sólida.

2.4 Ensaio de tração

As amostras foram submetidas ao ensaio mecânico em uma máquina para ensaio de tração, anexada a um microcomputador com sistema automático de aquisição de dados. Os parâmetros dos ensaios seguiram o proposto NBR 7549 (2008). Para obtenção do limite de resistência a tração e o alongamento foram utilizados 4 corpos de prova de cada tipo de liga confeccionada e para cada condição analisada. Os valores de Limite de Resistência a Tração e alongamento foram determinados através da curva de tensão x deformação convencional, já para avaliar o Efeito de Portevin – Lê Chatelier optou-se por avaliá-lo mediante as curvas de tensão-deformação reais.

3 | INSTRUÇÕES PARA DIGITAÇÃO

3.1 Análise química

As análises das composições químicas dos materiais são apresentadas na Tabela 1. As composições químicas foram obtidas de acordo com o proposto neste trabalho.

Ligas	Elementos (m%)		
	Fe	Zr	Mg
Al-6% Mg	0.134	0.0020	5.853
Al-6% Mg-0,15%Zr	0.150	0.146	5.894

Tabela 1. Composição da liga com Al-6%Mg e a modificada com 0,15%Zr

3.2 Análise da macroestrutura

A Figura 4 mostra a macroestrutura da liga de alumínio puro (a), comparado com a liga base Al-6%Mg (b), e após isso, modificada com o teor de 0,15% de Zr (c). As macrografias foram reveladas por meio de ataque químico por imersão pelo tempo de 10s com o reagente "Keller 5%" (3 ml HCl + 5 ml HNO₃ + 2 ml HF + 190ml água destilada).

Na macrografia com o alumínio puro, é exibido a ocorrência da zona colunar que apresenta observância ao sentido do fluxo de calor do sistema de solidificação. Ao adicionar 6% de Mg, observa-se a ocorrência da zona equiaxial na interface metal-molde, e a estrutura bruta de fusão, apresenta – se levemente colunar. Com a modificação de 0,15% de Zr, é possível observar que o sentido do fluxo de extração de calor não é mais evidenciado, tornando a estrutura bruta de fusão totalmente equiaxial. Nas paredes do molde de cobre, é observado a presença de grãos coquilhados dos quais são os resultados do primeiro contato do metal líquido com a parede fria do molde evidenciando uma elevada taxa de resfriamento durante a solidificação do metal líquido (PORTER e EASTERLING, 1992). Observou-se macroestruturas semelhantes com os resultados de Hosseiny (2015).

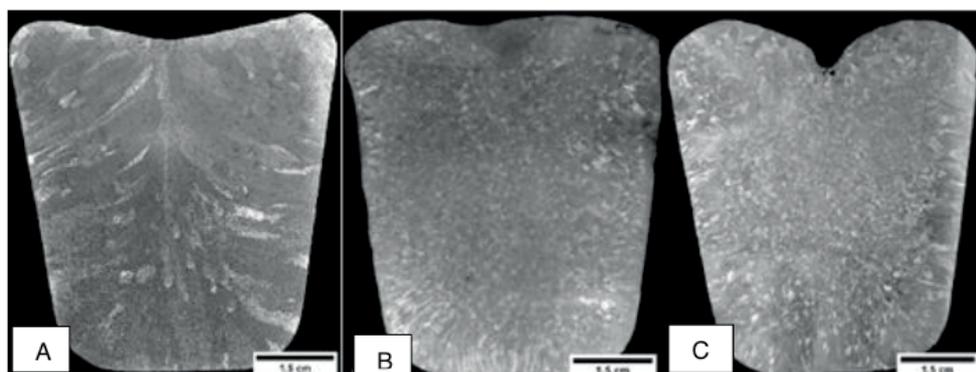


Figura 4. Macrografias das ligas solidificadas em molde de cobre. (a) Al-Puro, (b) Al-6%Mg (c) Al-6%Mg-0,15%Zr.

3.3 Caracterização mecânica

3.3.1 Sem tratamento térmico

A Tabela 2 apresenta os valores de limite de resistência à tração da liga base – (Al-6%Mg), e após isso a liga base modificada com o teor de 0,15% de Zr. Nota –se que a presença de Zr na liga diminuiu os valores de limite de resistência à tração, com perdas de 1,91%. É importante pontuar que os valores de Limite de Resistência e tração e alongamento foram determinados a partir da curva de tensão-deformação convencional.

Ligas	LRT (MPa)	Perdas (MPa)	Percentual de Perda (%)
Al-6%Mg	570,73±3,6	-	-
Al-6% Mg-0,15%Zr	559,81±8,87	10,92	1,91

Tabela 2. Resultado do Limite de Resistencia à Tração da liga Al-6%Mg e da liga modificada com 0,15% Zr.

Através do ensaio de tração, obteve-se também os valores de alongamento, os quais são apresentados na Tabela 3.

Ligas	Alongamento (%)	Ganho (%)	Ganho Percentual (%)
Al-6%Mg	3,66±0,33	-	-
Al-6% Mg-0,15%Zr	3,94±0,36	0,28	7,11

Tabela 3. Resultado do alongamento da liga sem e com adição de 0,15%Zr.

A Figura 5, ilustra o efeito da adição de 0,15%de Zr na liga base Al-6%Mg. Ressalta – se que a avaliação das propriedades mecânicas dos materiais é feita na condição como solidificada, no qual o material passa pelo o que se convencionou nomear como: “têmpera de fusão”, do qual a fase líquida será transformada em solução sólida α -Al, reduzindo qualquer possibilidade de precipitação, tanto do Mg quanto do Zr. Em suma, analisando os valores de LRT e alongamento da liga base, em comparação com a modificada por 0,15% de Zr, verifica – se uma relação íntreca entre a macroestrutura, na qual o maior valor de LRT e menor alongamento na liga Al-6%Mg-0,15%Zr está relacionada com a região colunar a partir da interface metal/molde, e a liga base Al-6%Mg na qual apresenta menor valor de LRT e maior valor de alongamento, está relacionada com a maior presença de grãos equiaxiais.

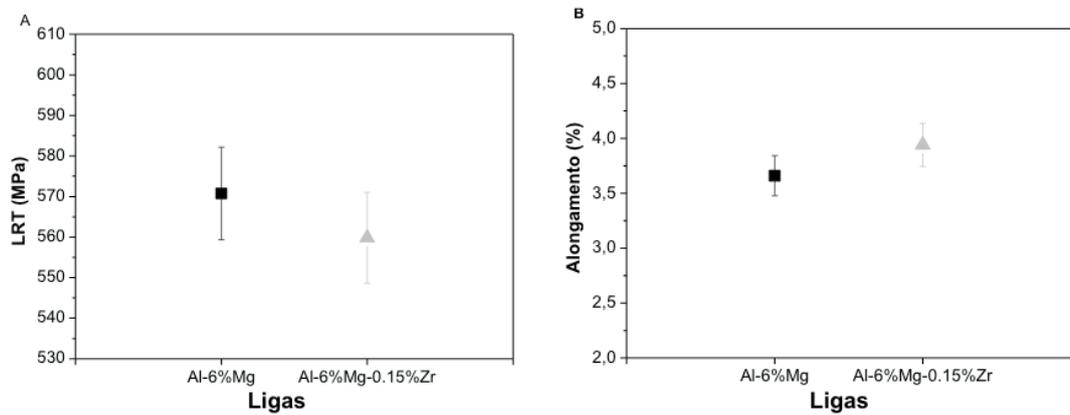


Figura 5. (a) LRT e(b) Alongamento das ligas sem e com adição de Zr.

3.3.2. Com tratamento térmico

O tratamento térmico adotado, gerou algumas mudanças no limite de resistência à tração das ligas estudadas, conforme pode ser observado na Tabela 4 e na Figura 6 (a).

Tempo de Tratamento Térmico (horas)	LRT após TT 400°C/16h (MPa)	
	Al-6%Mg	Al-6%Mg-0.15%Zr
0	570,73 ± 3,60	559,81 ± 8,87
16	550,55 ± 5,65	584,57 ± 4,54

Tabela 4. Limite de Resistência a tração antes e pós tratamento térmico.

O tratamento térmico também ocasionou mudanças no alongamento das ligas, conforme mostra a Tabela 5 e Figura 6 (b).

Tempo de Tratamento Térmico (horas)	Alongamento após TT 400°C/16h (%)	
	Al-6% Mg	Al-6% Mg-0,15% Zr
0	3,66 ± 0,33	3,94 ± 0,36
16	6,41 ± 0,20	4,37 ± 0,35

Tabela 5. Resultado do Alongamento antes e após o tratamento térmico.

Neste referente caso, o tratamento térmico aplicado no material causou perdas no valor de LRT, e na liga modificada com 0,15% de Zr houveram significativos ganhos no valor.

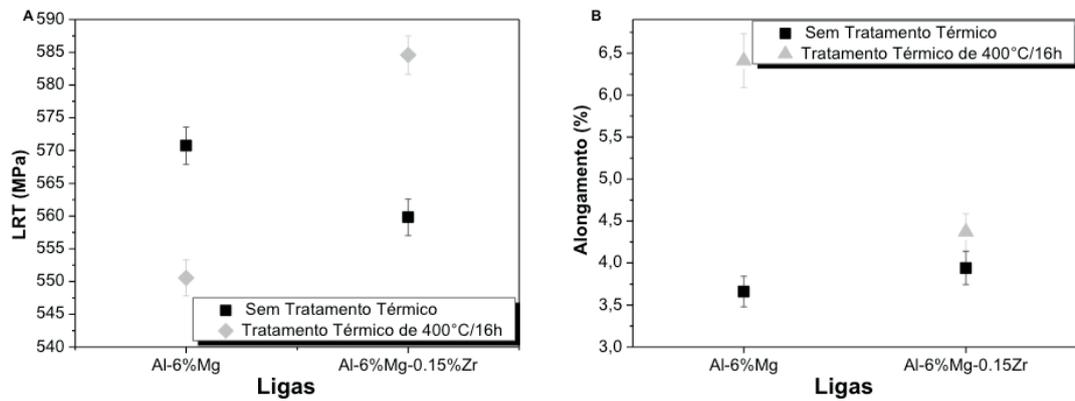


Figura 6. (a) Limite de Resistência à Tração e (b) Alongamento das ligas Al-6% Mg e Al-6%Mg-0,15% Zr, com e sem tratamento térmico.

A tabela 6 apresenta os resultados de Limite de resistência a tração e alongamento obtidos para as ligas avaliadas e em todas as condições. Considerando todas as amostras ensaiadas.

Ligas (%)	Tempo de Tratamento Térmico (horas)	LRT (MPa)	Alongamento (%)
Al-6% Mg	0	570,73±3,6	3,66±0,33
Al-6% Mg-0,15% Zr	0	559,81±8,87	3,94±0,36
Al-6wt% Mg	16	550,55±5,65	6,41±0,20
Al-6% Mg-0,15% Zr	16	584,57±4,54	4,37±0,35

Tabela 6. Resultado do LRT e do Alongamento das ligas modificadas.

Em relação ao valor de alongamento, tanto a liga modificada com o teor de 0,15% de Zr, quanto a liga base, houveram ganhos no valor. Todavia, considerando o desvio padrão próximo, considera – se que as diferenças nos resultados com e sem tratamento térmico, não foram significativas, conforme visualizado na Figura 6 (b).

Na Curva de Tensão x Deformação da Figura 7 para as ligas sem aplicação de tratamento térmico, observa – se que os valores de LRT tanto para a liga base, quanto para a liga modificada com 0,15% de Zr, foram próximos, porém a tensão gerada na zona plástica foi maior para a liga base. Conforme visto anteriormente neste referente trabalho, utilizou – se um sistema de solidificação com elevada taxa de resfriamento, gerando uma têmpera líquida no material, suprimindo a possibilidade de precipitação dos elementos Mg e Zr que encontram – se como soluções sólidas supersaturadas. A menor tensão da zona plástica para a liga modificada com 0,15% de Zr, está atrelado possivelmente devido ao próprio elemento Zr, que como solução sólida não obteve capacidade de endurecer suficientemente o material.

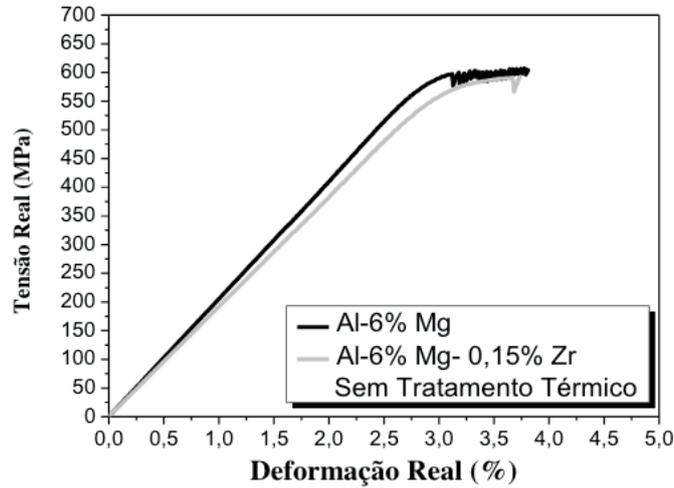


Figura 7. Curvas tensão versus deformação para as ligas Al-6% Mg e Al-6% Mg-0,15% Zr antes do tratamento térmico.

Na Curva de Tensão x Deformação da Figura 8 após aplicação do tratamento térmico de envelhecimento artificial, pode – se visualizar através das curvas das ligas, que a liga modificada com 0,15% de Zr obteve significativamente maior ganho de LRT. Fato este podendo ser justificado devido a referente liga estar localizada em uma região de precipitação. Ou seja, reforçando o fato de que houveram formações de precipitados de Al_3Zr , que possivelmente foram preponderantes para o endurecimento do material.

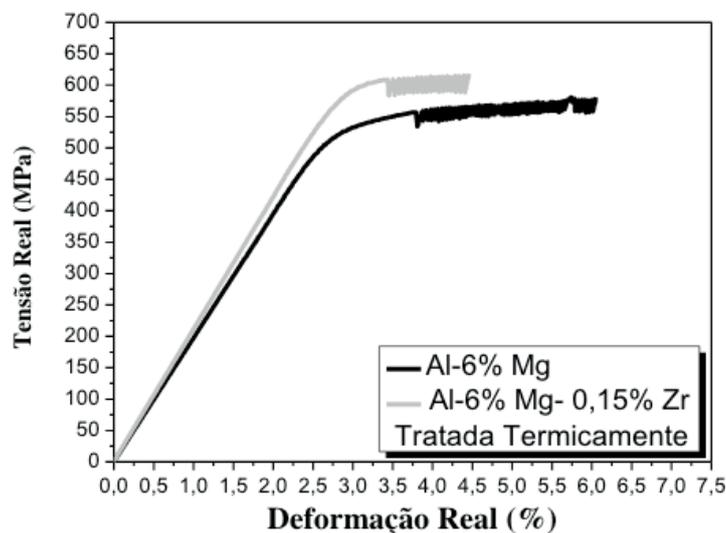


Figura 8. Curvas tensão real versus deformação real para as ligas Al-6% Mg e Al-6% Mg-0,15% Zr após ao tratamento térmico de envelhecimento artificial.

Autores como Qian (2018) e Li (2014) também visualizaram o aumento dos valores de LRT das ligas devido à formação de precipitados intermetálicos de Al_3Zr .

3.4 Análise do efeito de Portevin – Le Chatelier

Nas curvas da Figura 9, é possível visualizar de forma ampliada os serrilhados característicos do Fenômeno de Portevin – Le Chatelier, da liga base – (Al-6%Mg), e da liga base modificada com o teor de 0,15% de Zr.

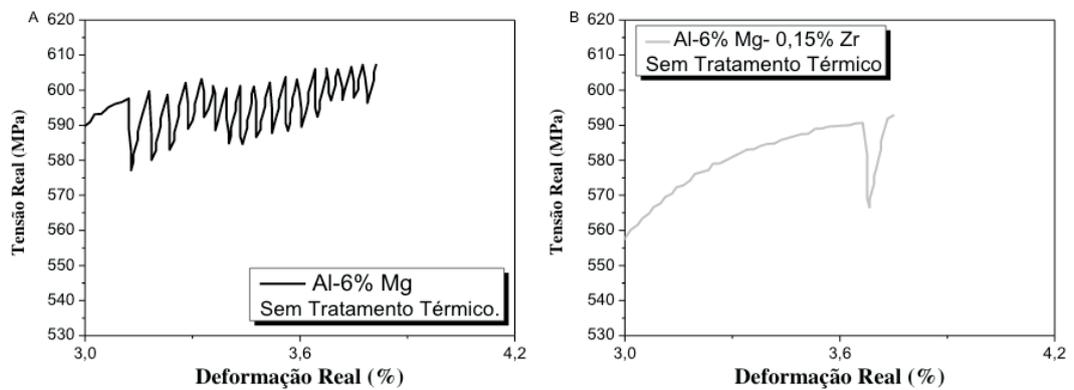


Figura 9. Efeito de PLC para as ligas Al-6% Mg e Al-6% Mg-0,15% Zr sem tratamento térmico.

Conforme estudos de Ma [4], o efeito de PLC têm sido comumente observados no estado de solução sólida em ligas de Al-Mg. De acordo com Ait-Amokhtar (2015) a alta concentração de átomos de soluto de Mg aumenta as interações das discordâncias entre si, o que pode ser considerado efeito direto de PLC no material. Tal fato, pode ser comprovado pelos extensos serrilhados observados na liga base Al-6%Mg – (Figura 9 a).

Ao adicionar 0,15% de Zr, observa – se que a extensão dos serrilhados tornam – se menores – (Figura 9 b), podendo ser justificado devido às maiores tensões internas do material causadas pelo acréscimo do teor de Zr, que apresenta influência com o acoplamento das discordâncias, dos quais difundem – se entre os átomos de soluto para movimentarem – se livremente.

Após ao tratamento térmico, é observado nas curvas da Figura 10, os serrilhados característicos do Efeito de PLC, tanto da liga modificada com 0,15% de Zr, quanto da liga base Al-6%Mg.

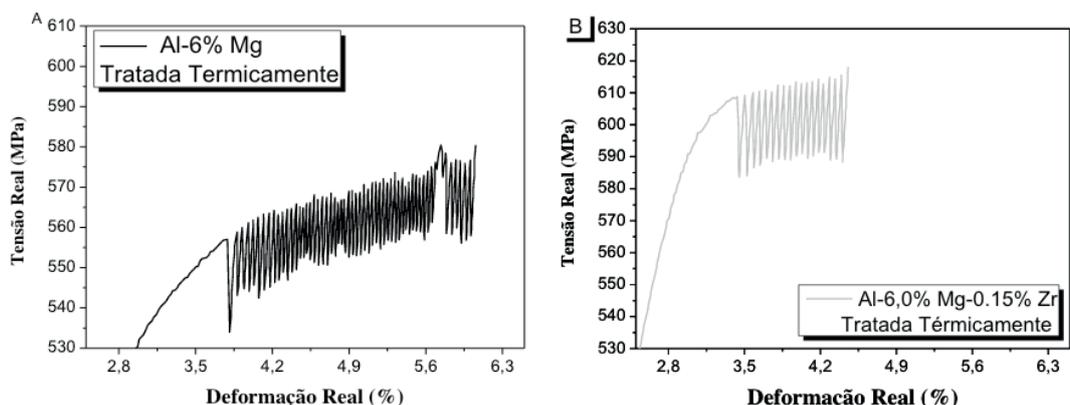


Figura 10. Efeito de PLC para as ligas Al-6wt% Mg e Al-6% Mg-0,15% Zr após tratamento térmico.

Após ao tratamento térmico, observa – se maiores extensões de serrilhados do Efeito de PLC tanto na liga base Al-6%Mg, quanto na liga base modificada com o teor de 0,15% de Zr. Podendo ser associado à maior interação de discordâncias com átomos de soluto, que podem se distribuir mais uniformemente nos grãos para auxiliar sua difusão. Especificamente na liga modificada com 0,15% de Zr – (Figura 10 b), ressalta – se a presença de precipitados de Al_3Zr , que colaboraram para a maior extensão do Efeito de PLC, fato este também podendo ser visualizado nos estudos de Zhemchuzhnikova (2015) e Hu (2011).

4 | CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que na liga sem tratamento térmico, a liga adicionada com 0,15% de Zr, obteve menor valor de LRT e maior alongamento. Após ao tratamento térmico de envelhecimento artificial, observa – se significativos ganhos de LRT, e valores aproximados de alongamento, considerando os valores de desvio padrão.

Sobre o Efeito de PLC, observa – se que na liga modificada com 0,15% de Zr na condição sem tratamento térmico, os serrilhados obtiveram menores extensões – (em comparação com a liga base). E após ao tratamento térmico, observa – se maiores extensões de serrilhados na liga adicionada com 0,15% de Zr.

Devido a limitações da análise microestrutural por MEV não foi possível verificar as discordâncias e nem o deslocamento das maclas que possivelmente causaram o efeito de PLC. Essa análise poderá ser realizada em estudos futuros por meio do microscópio eletrônico de Transmissão (MET).

Os resultados encontrados foram bastante significativos, pois mostraram que o tratamento térmico utilizado melhorou as propriedades mecânicas da liga com Zr. Confirmando que o Zircônio tem grande potencial para ser utilizado em ligas de alumínio quando tratadas termicamente, possivelmente, precipitando compostos intermetálicos de Al-Zr, como o trialumineto de zircônio (Al_3Zr). Com base nisso, pode-se verificar que a liga da série 5XXX torna-se tratável termicamente com a inserção de Zr como elemento de liga, o que aumenta, assim, a sua gama de aplicações na indústria.

REFERÊNCIAS

TOTTEN, G. E.; MACKENZIE, S. **Handbook of Aluminum: Physical Metallurgy and Processes**. 1ª. ed. New York: CRC Press, v. I, 2003.

FERRARI, B. R. **Caracterização de ligas metálicas a base de Alumínio - Magnésio obtida por método convencional após tratamentos termomecânicos visando estruturas cristalinas**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica. São Paulo. 2008.

KAUFMAN, J. G.; ROOY, E. L. The Influence and Control of Porosity and Inclusions in Aluminum Castings. In: ASM INTERNATIONAL **Aluminum alloy casting: properties, processes and applications**, Materials Park. [S.l.]: [s.n.], 2004. p. 47-54.

MA, P. C. et al. Effect of alloying elements and processing parameters on the Portevin-Le Chatelier effect of Al-Mg alloys. **International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials.**, v. 22, n. 2, p. 175-183, 2015.

KANG, R. K. et al. **Mag. Lett.** [S.l.]: [s.n.], 2012. 647-655 p.

ASM INTERNATIONAL. **Aluminum and aluminum alloys**. 2. ed. [S.l.]: American Society for Metals - ASM Handbook, v. 4, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7549: Alumínio e suas ligas — Produtos laminados, extrudados e fundidos — Ensaio de tração**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2008.

PORTER, D. A.; EASTERLING, K. E. **Phase Transformations in Metals and Alloys**. Londres: Chapman & Hall, 1992. 263-313 p.

HOSSEINY, H.; EMAMY, M.; ASHURI, G. Effect of Al-15Zr Master Alloy and Extrusion Process on Microstructure and Mechanical Properties of Al-6% Mg Alloy. **Procedia Materials Science**, v. 11, p. 438-443, 2015.

QIAN, H. et al. Effects of Zr additive on microstructure, mechanical properties, and fractography of Al-Si Alloy. **Metals**, v. 8, n. 2, p. 124, 2018.

LI, G. et al. Effect of Sc/Zr ratio on the microstructure and mechanical properties of new type of Al-Zn-Mg-Sc-Zr alloys. **Materials Science and Engineering: A**, v. 617, p. 219-227, 2014.

AIT-AMOKHTAR, H.; FRESSENGEAS, C.; BOUABDALLAH, K. On the effects of the Mg content on the critical strain for the jerky flow of Al-Mg alloys. **Materials Science and Engineering: A**, v. 631, p. 209-213, 2015.

ZHEMCHUZHNIKOVA, D. A. et al. Unusual behavior of the Portevin–Le Chatelier effect in an AlMg alloy containing precipitates. **Materials Science and Engineering: A**, v. 639, p. 37-41, 2015.

HU, Q. et al. Theoretical and Applied Mechanics Letters. **Theoretical and Applied Mechanics Letters**, v. 1, n. 1, p. 011007, 2011.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Franciele Braga Machado Tullio - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

Lucio Mauro Braga Machado - Bacharel em Informática (Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG/1995), Licenciado em Matemática para a Educação Básica (Faculdade Educacional da Lapa – FAEL/2017), Especialista em Desenvolvimento de Aplicações utilizando Tecnologias de Orientação a Objetos (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/ 2008). É coordenador do Curso Técnico em Informática no Colégio Sant’Ana de Ponta Grossa/PR onde atua também como professor desde 1992, também é professor na Faculdade Sant’Ana atuando na área de Metodologia Científica, Metodologia da Pesquisa e Fundamentos da Pesquisa Científica e atua como coordenador dos Sistemas de Informação e do Núcleo de Trabalho de Conclusão de Curso da instituição. E-mail para contato: machado.lucio@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aeroportos brasileiros 57, 58, 59, 60, 62, 63, 65, 66, 67, 68, 72, 73, 74
Álgebra linear 185
ALT 48, 49, 50
Ambiente de tarefa 99, 101, 102
Ambiente espacial 174, 175
Ambiente geral 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108
Automatizado 77, 78, 79, 81, 85

B

Banco de dados 51, 57, 165, 169, 170

C

Cadeia de distribuição 57, 66, 71
Classificação 132, 133
Clima organizacional 99, 103, 104, 105, 106, 108, 109
Componente de satélite 174
Controle de acesso 165
Cortador-de-grama 77

D

Dimensionamento 17, 18, 22, 24, 84, 112, 115, 120, 124
Dose ionizante total acumulada 174, 175

E

Economia 75, 77, 105, 120, 193
Eficiência 23, 77, 85, 185

F

Física da falha 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55
Foguete 17

G

Geometria analítica 185, 197, 198
Ground stations 147, 148, 150

L

LDA 48, 49, 50
Limite de resistência à tração 86, 87, 88, 92, 93, 94

M

Metodologia científica 125, 126, 128, 129, 130, 131, 206

Métodos de pesquisa 125, 126, 129

Métodos de predição da confiabilidade 48, 52

Métodos de solução 132, 133, 138, 140, 144

Modelagem matemática 26, 28, 37, 146

Modelo de malthus 26, 31, 32, 35

Modelo de verhulst 26, 29, 31, 34, 35

P

Panorama 70, 75, 132

Paraquedas 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25

Profiles 39, 41, 43, 46, 47

Programação da produção 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 145

Q

Querosene de aviação 57, 58, 59, 61, 66, 69, 71, 75

R

Refino de grãos 87

S

Satellites 147, 148, 149, 150, 151, 152, 159, 160, 161, 162, 163, 164

Secções cônicas 185, 186, 187, 188, 197

Segurança 1, 77, 78, 79, 84, 85, 105, 115, 124, 165, 166, 167, 168, 171, 172, 206

Segurança escolar 165

Servidor web 165, 170

Software defined radio 147, 164

Software processes 39, 41, 43

Soja 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38

Space systems 147, 174

T

Tocantins 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38

Transistor 2n2222a 174, 179, 180

V

Vse 39, 41, 42, 46

Z

Zircônio 86, 87, 88, 90, 97

