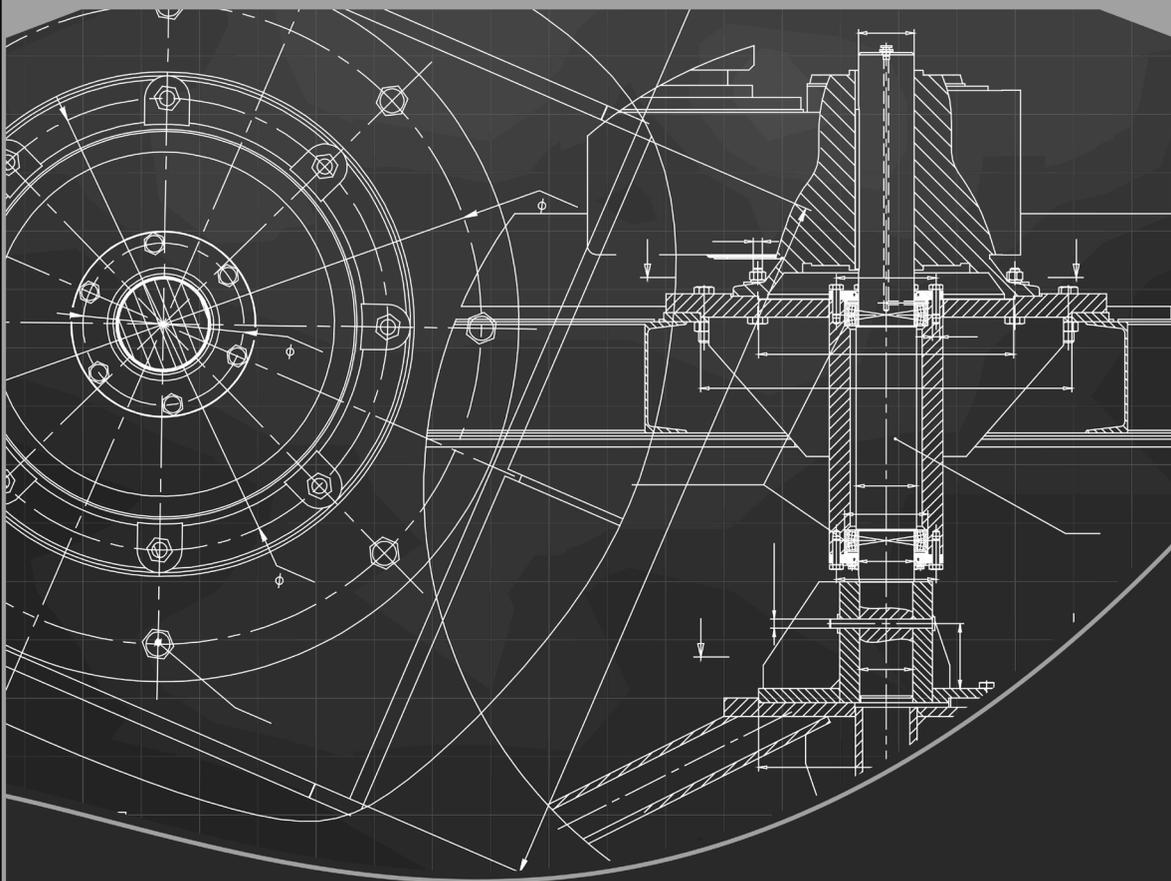


Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas
e motores no cotidiano do homem

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

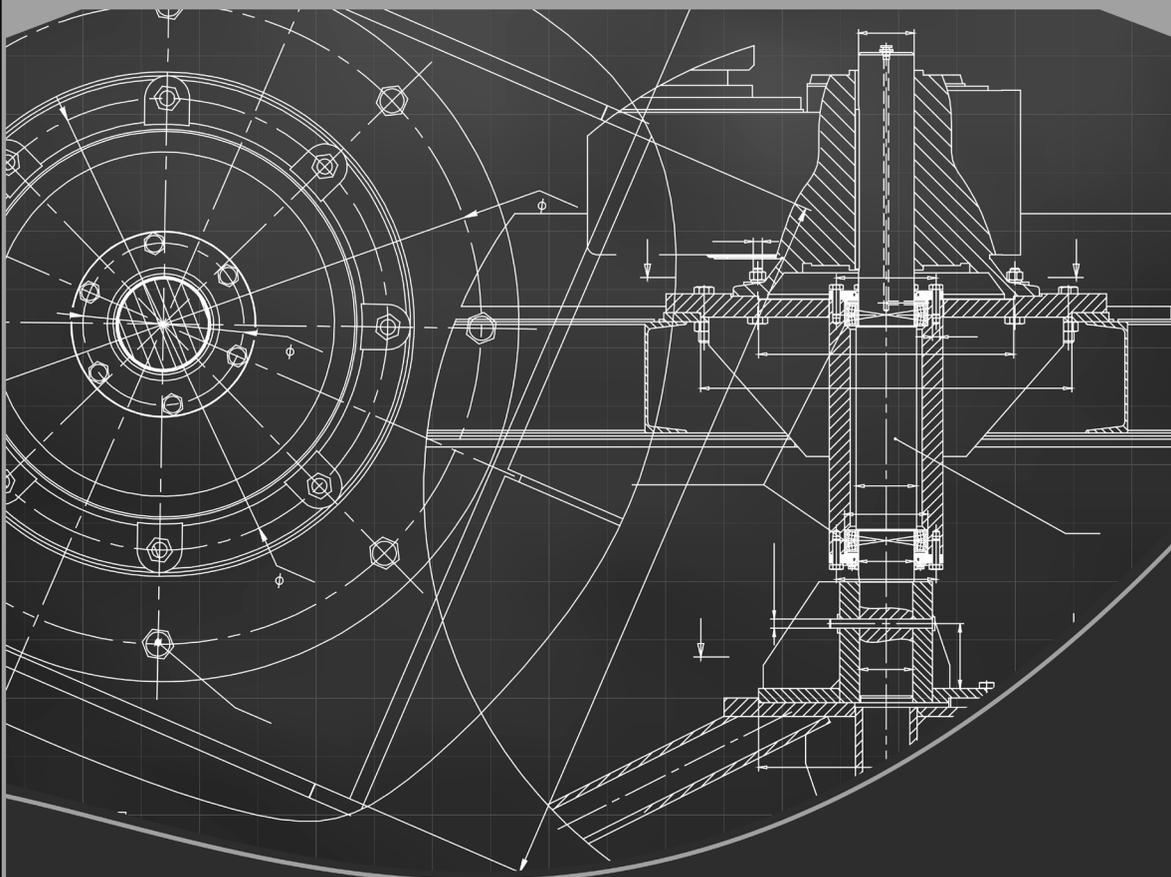
Ano 2021

Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas
e motores no cotidiano do homem

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

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. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Elói Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
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. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
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
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miraniide Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa

Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenología & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lúvia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia mecânica: a influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem 2

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia mecânica: a influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem 2 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-117-3

DOI 10.22533/at.ed.173211806

1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.
CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. O aumento no interesse por essa área se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas, reduzindo o tempo de execução e a utilização de materiais.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica e materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE BANANEIRA COM RESINA SINTÉTICA EM COMPÓSITOS

Rúi Carlos de Sousa Mota

José Ubiragi de Lima Mendes

DOI 10.22533/at.ed.1732118061

CAPÍTULO 2..... 18

CARACTERIZAÇÃO DA BORRA DE PIAÇAVA (*ATTALEA FUNIFERA*) PARA PRODUÇÃO DE BRIQUETES

Alexandre Silva de Moraes

Vitor da Silva Lacerda

Alberto Matheus Freitas Oliveira

Ana Claudia Rangel da Conceição

Carlos Alberto França Junior

Victor Antunes Silva Barbosa

Mirtânia Antunes Leão

DOI 10.22533/at.ed.1732118062

CAPÍTULO 3..... 34

STRUCTURAL OPTIMIZATION OF A NOSE LANDING GEAR FOR CESSNA 172 AIRPLANE

Raphael Basilio Pires Nonato

Alexander Dias Lopes

DOI 10.22533/at.ed.1732118063

CAPÍTULO 4..... 49

AVALIAÇÃO DO GRAU DE SENSITIZAÇÃO E O APARECIMENTO DE FASES INTERMETÁLICAS EM TRECHO DE TUBULAÇÃO DE FORNO DE COQUEAMENTO RETARDADO

Thiago Batista David

Erike Wilker Arruda Figueredo

Fillipe Stephany de Souza Virgolino

Luiz Adeildo da Silva Junior

Moisés Euclides da Silva Junior

DOI 10.22533/at.ed.1732118064

CAPÍTULO 5..... 60

FABRICAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA7013 ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ

Enéas Carlos de Oliveira Silva

Eduardo José Silva

Thiago Batista David

Moisés Euclides da Silva Junior

Oscar Olimpio de Araujo Filho

DOI 10.22533/at.ed.1732118065

CAPÍTULO 6..... 78

FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA7009 ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ

Enéas Carlos de Oliveira Silva
Eduardo José Silva
Thiago Batista David
Moisés Euclides da Silva Junior
Oscar Olimpio de Araujo Filho

DOI 10.22533/at.ed.1732118066

CAPÍTULO 7..... 96

FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA8011 ATRAVÉS DAS TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ

Sandra Torres Zarzar
Diogo Monteiro do Nascimento
José Endreo Baracho da Costa
Moisés Euclides da Silva Junior
Oscar Olimpio de Araujo Filho

DOI 10.22533/at.ed.1732118067

CAPÍTULO 8..... 111

METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS ASSOCIADOS À APLICAÇÃO DE SOLDAGEM EM TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

Wagner Gutemberg Cavalcanti da Silva
Felipe Leandro dos Santos
Helen Rodrigues Araújo
Marcio Rolemberg Freire
Moisés Euclides da Silva Junior

DOI 10.22533/at.ed.1732118068

CAPÍTULO 9..... 126

APLICAÇÃO DE MQL NO TORNEAMENTO DO AÇO SAE 4340 COM INSERTO DE METAL DURO TEXTURIZADO A LASER E REVESTIDO DE TiAIN

Rhander Viana
Milton Sérgio Fernandes de Lima
Paulo Vinícius da Silva Resende

DOI 10.22533/at.ed.1732118069

CAPÍTULO 10..... 142

ESTUDO DO GRADIENTE DE TEMPERATURA DURANTE O FRESAMENTO DO AÇO AISI 4340 UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Nicollas Vivaldini
Rodrigo Henriques Lopes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.17321180610

CAPÍTULO 11 150

IDENTIFICAÇÃO DO MOMENTO IDEAL DE TROCA DE FERRAMENTAS DE CORTE ATRAVÉS DO MONITORAMENTO DO DESGASTE POR SINAL DE VIBRAÇÃO E

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Lucas Costa Brito

Márcio Bacci da Silva

Marcus Antonio Viana Duarte

DOI 10.22533/at.ed.17321180611

CAPÍTULO 12..... 165

METROLOGIA PARA ENGENHARIAS: CONSTRUÇÃO DE UM PROJETO METROLÓGICO PARA APLICAÇÃO DE CONCEITOS

Lisiane Trevisan

Daniel Antonio Kapper Fabricio

DOI 10.22533/at.ed.17321180612

CAPÍTULO 13..... 175

POTENCIAL ECONÔMICO E ENERGÉTICO DO APROVEITAMENTO DO CALOR REJEITADO POR CONDICIONADORES DE AR

David Coverdale Rangel Velasco

José Alexandre Tostes Linhares Júnior

Felipe Perissé Duarte Lopes

Carlos Maurício Fontes Vieira

Afonso Rangel Garcez de Azevedo

DOI 10.22533/at.ed.17321180613

CAPÍTULO 14..... 184

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO REGIME DE TRABALHO DE REFRIGERADOR DE GRÃOS INTEGRADO A TUBOS CANADIANOS

Eduarda Silva Costa

Matheus Júnio Souza da Silva

Ramiro de Matos Bertolina

Thiago Ferreira Gomes

DOI 10.22533/at.ed.17321180614

CAPÍTULO 15..... 193

DIMENSIONAMENTO DE CARGA TÉRMICA DE CONDICIONARES DE AR NO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE A NR 17 E NBR 16401

David Coverdale Rangel Velasco

José Alexandre Tostes Linhares Júnior

Márcio Paulo Bonifácio das Neves

André Luiz Vicente de Carvalho

Afonso Rangel Garcez de Azevedo

DOI 10.22533/at.ed.17321180615

CAPÍTULO 16..... 205

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO NO INTERIOR DE UM VEÍCULO AUTOMOTOR PERTENCENTE À FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO NO MUNICÍPIO DE CUIABÁ-MT

Roberta Daniela de Souza

Marcelo Dias de Souza

Jonathan Willian Zangeski Novais

DOI 10.22533/at.ed.17321180616

CAPÍTULO 17..... 211

AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE UM VEÍCULO BAJA

Arthur Barroso Costa

João Lucas Moura Ferreira

Igor Antunes Ferreira

Luiz Gustavo Monteiro Guimarães

DOI 10.22533/at.ed.17321180617

CAPÍTULO 18..... 234

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DO USO DA AUTOMAÇÃO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

Igor Moreno Mamedes

Andrea Teresa Riccio Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.17321180618

CAPÍTULO 19..... 245

PRINCIPAIS PARÂMETROS DE DESEMPENHO EMPREGADOS PELAS EMBARCAÇÕES DE PEQUENO PORTE MOVIDAS A ENERGIA FOTOVOLTAICA NO DESAFIO SOLAR BRASIL

David Coverdale Rangel Velasco

Valter Luís Fernandes de Sales

DOI 10.22533/at.ed.17321180619

CAPÍTULO 20..... 255

VIABILIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL

David Coverdale Rangel Velasco

Elivandro Tavares Lôbo

Welder Azevedo Santos

Wagner Vianna Bretas

Rodrigo Martins Fernandes

DOI 10.22533/at.ed.17321180620

CAPÍTULO 21..... 268

SINTONIA DE CONTROLADORES DE TEMPERATURA COM REDES NEURAIS

Tiago Luís Andrade Pereira

Anderson Daleffe

DOI 10.22533/at.ed.17321180621

CAPÍTULO 22..... 284

COMPARISON OF STRAIN AND LOAD OBTAINED VIA STRAIN GAGE BY WIRE AND WIRELESS TRANSMISSIONS

Raphael Basilio Pires Nonato

Luiz Carlos Gomes Sacramento Júnior

Leonardo Ferreira Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.17321180622

CAPÍTULO 23.....	300
SISTEMA AUTOMATIZADO DESTINADO À ALIMENTAÇÃO DE ANIMAIS DE PEQUENO PORTE	
Eliezer Silva Bonfim de Jesus	
Guilherme de Souza Carneiro Meireles	
Josedacson Barbosa de Lacerda	
Kevin Ruan dos Reis Oliveira	
Rúi Carlos de Sousa Mota	
DOI 10.22533/at.ed.17321180623	
SOBRE OS ORGANIZADORES	307
ÍNDICE REMISSIVO.....	308

FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA8011 ATRAVÉS DAS TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ

Data de aceite: 01/06/2021

Data de submissão: 04/03/2021

Sandra Torres Zarzar

Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Mecânica
Recife - PE
<http://lattes.cnpq.br/0384873279545386>

Diogo Monteiro do Nascimento

Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Mecânica
Recife - PE
<http://lattes.cnpq.br/4769727508932728>

José Endreo Baracho da Costa

Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Mecânica
Recife - PE
<http://lattes.cnpq.br/7388580133360768>

Moisés Euclides da Silva Junior

Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Mecânica
Recife - PE
<http://lattes.cnpq.br/9524894169629954>

Oscar Olimpio de Araujo Filho

Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Mecânica
Recife - PE
<http://lattes.cnpq.br/6740759499723367>

RESUMO Foi fabricada a liga de alumínio AA8011 através da técnica de metalurgia do pó. Os pós foram processados através da moagem de alta

energia (MAE) durante 30, 60, 120 minutos e em seguida caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de energia dispersiva (EDS), difração de raios-x (DRX) e granulometria por Difração a Laser. Após a caracterização dos pós, os pós foram consolidados através de compactação uniaxial a frio, seguida sinterização e de extrusão a quente. A caracterização do sinterizado e extrudado foi feita através de MO, MEV e microdureza vickers. A caracterização do material particulado evidenciou uma diminuição do tamanho das partículas da mistura dos pós com o aumento do tempo de processamento, o material sinterizado demonstrou uma porosidade acentuada, baixa densificação e uma microestrutura não homogênea, o material extrudado apresentou uma baixa porosidade, boa densificação e uma microestrutura com boa homogeneização, foram observados precipitados ternários (AlFeSi) e binários (AlSi) nas imagens da microscopia eletrônica de varredura, e identificadas as suas composições químicas por espectroscopia de energia dispersiva.

PALAVRAS-CHAVE: AA8011, ligas de alumínio, metalurgia do pó, extrusão a quente.

MANUFACTURING AND CHARACTERIZATION OF THE ALUMINUM ALLOY AA8011 THROUGH POWDER METALLURGY TECHNIQUES

ABSTRACT: The AA8011 aluminum alloy was manufactured through powder metallurgy technique. The powders were processed through high energy ball milling (HEBM) for 30, 60, 120 minutes and then characterized by scanning

electron microscopy (SEM), dispersive energy spectroscopy (EDS), x-ray diffraction (XRD) and Laser Diffraction granulometry. After the characterization of the powders, the powders were consolidated through cold uniaxial compaction, followed by sintering and hot extrusion. The characterization of the of the sintered and extruded was carried out using OM, SEM and vickers microhardness test. The characterization of the particulate material showed a decrease in the size of the powder mixture particles with an increase in the processing time, the sintered material demonstrated a marked porosity, low densification and a non-homogeneous microstructure, the extruded material demonstrated a low porosity, good densification and a microstructure with good homogenization, ternary (AlFeSi) and binary (AlSi) precipitates were observed in the scanning electron microscopy images, and their chemical compositions were identified by dispersive energy spectroscopy.

KEYWORDS: AA8011, aluminium alloys, powder metallurgy, hot extrusion.

1 | INTRODUÇÃO

O alumínio é um elemento metálico encontrado de forma abundante na crosta terrestre, geralmente na forma de óxido. Foi descoberto e isolado nas primeiras décadas do século XIX. Com a criação do processo de refino, foi possível produzi-lo em escala comercial, o que promoveu a redução dos custos de fabricação e o consequente aumento na utilização deste metal não ferroso (BARBOSA, 2014).

As ligas de alumínio possuem vasta aplicação nos setores aeroespacial e automotivo devido às suas propriedades mecânicas superiores, como resistência à tração, densidade relativa, ductilidade, formabilidade, trabalhabilidade e resistência à corrosão (MEIGNAMOORTHY *et al.*, 2019). Devido ao excelente comportamento das ligas sob os diferentes pontos de vista de suas propriedades mecânicas, essas propriedades podem ser modificadas para satisfazer diferentes aplicações (TORRALBA *et al.*, 2003).

Uma das áreas de desenvolvimento mais ativas na metalurgia do alumínio está na série 8xxx (SHACKELFORD, 2008). As ligas de alumínio desta série têm como principal elemento de liga um elemento diferente das demais ligas de alumínio classificadas pela *Aluminum Association* (AA). Alguns exemplos dessas ligas são as formadas por binários Al-Li, Al-Fe, Al-Sn e ternários Al-Cu-Li, Al-Mg-Si, Al-Fe-Si (BARBOSA, 2014).

A Metalurgia do Pó (MP) é uma técnica de produção emergente para a fabricação de componentes com forma final ou próximas a final nas indústrias. Vários tipos de elementos podem ser misturados e propriedades únicas podem ser obtidas via MP (MEIGNAMOORTHY *et al.*, 2018). A MP oferece algumas vantagens em comparação com outros processos metalúrgicos, tal como a baixa temperatura de fabricação e é uma técnica que permite obter materiais que não podem ser obtidos por nenhuma outra rota alternativa (TORRALBA *et al.*, 2003).

A extrusão a quente é um processo que permite formas mais complexas quando são empregados metais com facilidade de serem extrudados, como o alumínio. Nesses

materiais, é possível obter formas finais com excelentes tolerâncias dimensionais e qualidades superficiais (DIETER, 1981). A extrusão na maioria dos metais é realizada a quente devido às forças necessárias para produzir a deformação (CHIAVERINI, 1986).

O presente trabalho teve como objetivo principal a fabricação e caracterização da liga de alumínio AA8011 via Metalurgia do Pó, por meio da moagem de alta energia, compactação a frio, seguida de extrusão a quente.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental realizado na liga AA8011 consistiu-se na caracterização dos pós, processamento dos pós através da moagem de alta energia (MAE), compactação e extrusão a quente. Seguindo com o processo de caracterização estrutural através da Microscopia ótica (MO), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) e ensaio de microdureza Vickers.

Foram empregados pós elementares cuja composição das amostras utilizada para compor as ligas estão indicados na Tabela 1. Os percentuais dos pós utilizados foram obtidos e escolhidos a partir da classificação da *Aluminum Association* encontrados no Vol. II do ASM Handbook (1990). Como agente controlador do processo (ACP) foi utilizado o composto orgânico ácido esteárico ($C_{18}H_{36}O_2$), em proporção de 1% da massa total do pó no processo de moagem.

Silício (Si)	Ferro (Fe)	Cobre (Cu)	Manganês (Mn)	Zinco (Zn)	Alumínio (Al)
0,9 %	0,6 %	0,1 %	0,2%	0,1 %	98,10 %

Tabela 1. Composição química liga AA8011.

Fonte: ASM Handbook (1990).

2.1 Processamento dos Pós

Para o processamento dos pós por moagem de alta energia, foi utilizado um moinho vibratório de alta energia SPEX, comumente utilizados para investigação em laboratórios. Foram processadas quatro amostras para cada liga, em períodos de tempo de 30, 60 e 120 minutos a uma velocidade de rotação de 720 rpm. Na Tabela 2 estão os parâmetros utilizados para o processamento dos pós.

Os pós processados por Moagem de Alta Energia foram compactados numa prensa manual com capacidade para 15 t/cm². Para todas as amostras, o tempo de aplicação da carga utilizado foi de 10 minutos a uma pressão de 10 t/cm².

Amostra	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	Tempo (min)
AM01/AM02/AM03/AM04	0,18	0,12	0,02	0,04	0,02	19,62	120

Tabela 2. Parâmetros das amostras para processamento do pó em gramas.

Fonte: Os autores (2019).

2.2 Sinterização do compactado verde

Os compactados verdes foram sinterizados em uma atmosfera controlada de argônio para evitar a oxidação a uma temperatura de patamar de 500°C por um período de 5h e taxa de aquecimento de 20°C/min. Logo, o resfriamento ocorreu no próprio forno até atingir a temperatura ambiente. A Figura 1 ilustra o ciclo de sinterização das amostras. Foram sinterizadas três amostras: AM01, AM02, AM03.

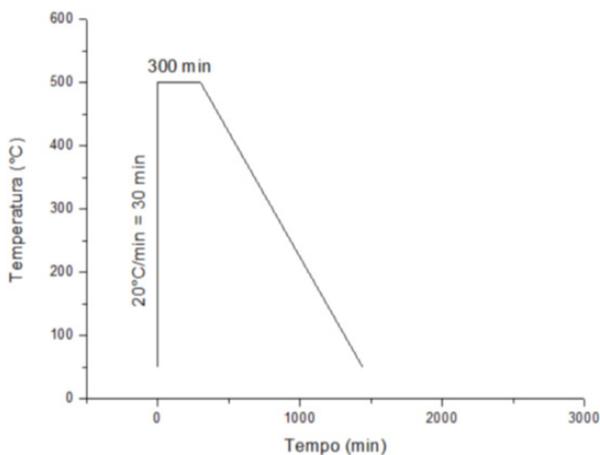


Figura 1. Ciclo de sinterização.

Fonte: Os autores (2019).

2.3 Preparação Metalográfica

Inicialmente foi realizado o corte ao meio das amostras, as sinterizadas em máquina de corte apropriada, e a extrudada em máquina de corte de baixa velocidade com disco abrasivo apropriado para o corte dessas amostras. Após o corte das amostras, foi realizado seu embutimento com o uso de uma resina auto-polimerizante para permitir um bom manuseio.

Em seguida, foi feito o lixamento da vista das seções das amostras a fim de eliminar vestígios de rebarbas provenientes do corte por disco abrasivo. As lixas d'água utilizadas

passaram pela sequência de Mesh de 220, 320, 400, 600 e 1200. O polimento foi feito manualmente numa politriz com o uso de pasta de diamante de 1 μm e o ataque da superfície por ácido fluorídrico a 0,5% por 15s (COUTINHO, 1980).

2.4 Extrusão a quente

A extrusão foi realizada numa matriz envolta por uma manta térmica que permite manter a temperatura desejada. O compactado verde da amostra foi colocado na matriz, este conjunto foi aquecido a temperatura de 500°C e prensados em uma prensa hidráulica. Foi extrudada a amostra AM04 com tempo de sinterização de 120 minutos.

2.5 Análise das Partículas de Pó

As análises da distribuição e tamanho das partículas de pó foram realizadas por via úmida com a água como meio dispersante. A distribuição do tamanho de partícula é dada em termos de um gráfico de distribuição de frequência em proporção de volume numa faixa de 0,01 a 3000 μm .

A difração de Raios-X foi realizada para caracterização microestrutural das amostras de pó processadas por Moagem de Alta Energia. Por meio desta técnica identificamos as fases presentes nos pós. A análise foi realizada em um difratômetro de Raios-X do tipo SHIMADZU, modelo XRD-7000, com radiação de Cu-K α , comprimento de onda $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, tensão de 40KV, corrente de 30mA, faixa de medição (2θ) de 5° a 120°, velocidade de medição de 1°/min e passo de 0,02°.

2.6 Micrografia e Dureza

Nas análises por MEV visualizamos o formato das partículas dos pós, a distribuição das partículas nos diversos tempos de MAE e a microestrutura da amostra extrudada. As análises químicas por EDS das amostras de pó sinterizada e extrudada, foram analisadas por um equipamento acoplado ao MEV. A análise por microscopia ótica foi realizada com um microscópio ótico da marca Zeiss, com câmera de vídeo acoplada AxloCam MRC5 e aumentos de 50x a 1000x e as imagens da amostra em aproximação de 100x, 200x e 500x. Para a microdureza, foi aplicada uma carga de 300g, com um tempo de indentação de 15s em cinco pontos aleatórios distribuídos de uma borda a outra das amostras com velocidade de aproximação entre 1,2 a 25 mm/s e realizado nas vistas superficial (S) e transversal (Ts) das amostras sinterizadas e vistas superfície transversal (T) e seção Longitudinal (L) da amostra extrudada.

3 | RESULTADOS

Pela observação das imagens do MEV e a análise química do EDS, as morfologias das partículas dos pós de partida possuem formas irregulares ou arredondadas e não foram encontradas impurezas na composição dos pós.

A Figura 2 apresenta as imagens dos pós utilizados na fabricação das ligas pela Microscopia eletrônica de Varredura.

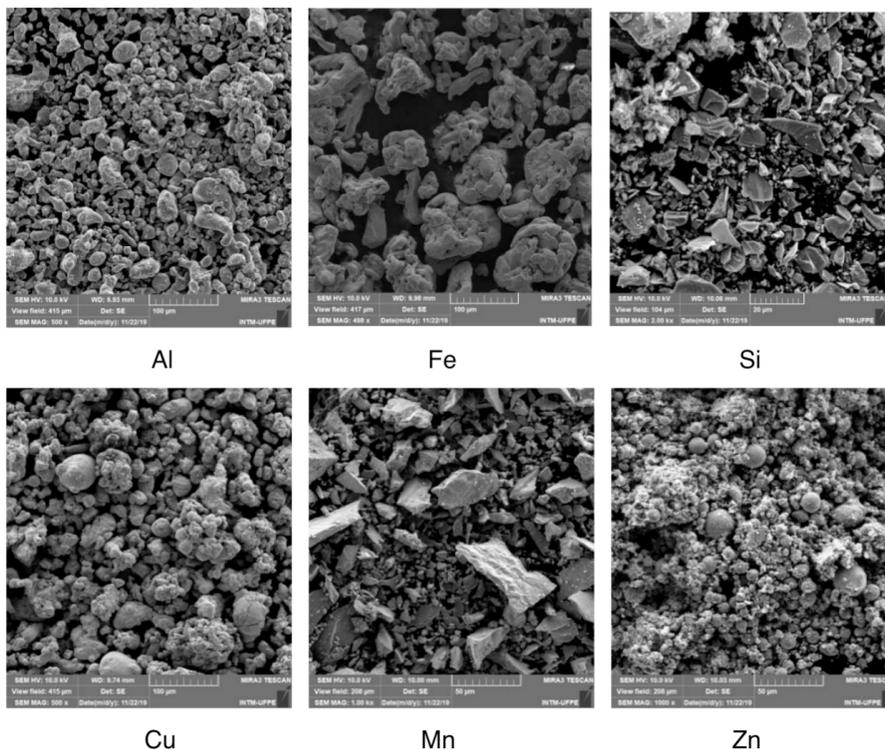


Figura 2. Pós Elementares.

Fonte: Os autores (2019).

A Figura 3 apresenta os difratogramas da liga AA8011 com os tempos de moagem de 30, 60, 120 minutos das amostras (AM01, AM02, AM03 e AM04) com as suas fases. Não houve praticamente nenhum deslocamento dos picos nas amostras.

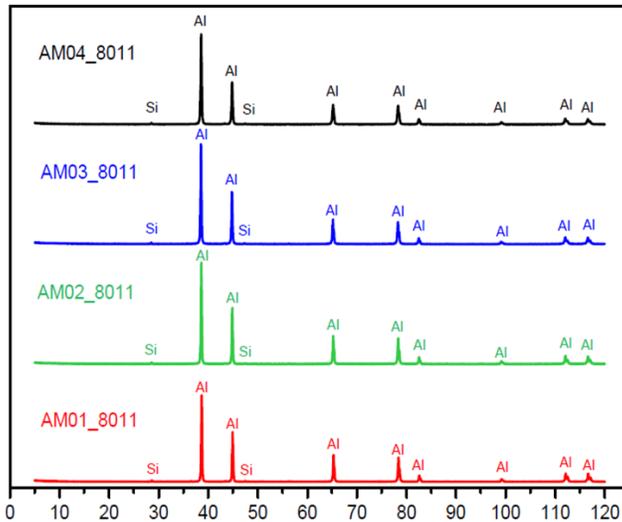


Figura 3. DRX da Liga AA8011 com tempos de moagem de 30, 60, 120 min.

Fonte: Os autores (2019).

Cunguang *et al.* (2015), ao estudar os efeitos do tamanho do pó de alumínio e microestrutura em compósitos de alumínio reforçado com nitrato de boro, observaram que durante o processo de moagem a maior energia produzida a partir da colisão constante entre as partículas e as esferas de aço, causou deformação plástica nas partículas de pó. Conforme se observa na Figura 4, esse efeito também foi verificado nos pós das ligas estudadas a partir da observação das micrografias que nos mostra pós deformados, formas irregulares e dimensões menores a cada tempo de moagem devido às maiores fraturas ocorridas. Nas Figuras 5 a 7 é apresentado os EDS com a identificação dos elementos presentes nas amostras do pó.

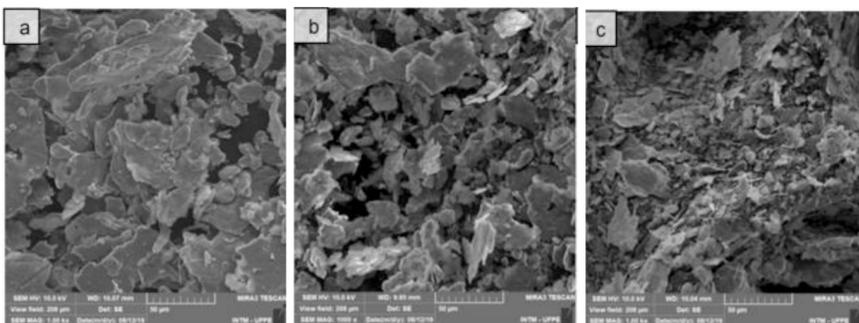


Figura 4. MEV partículas de pó com aumento de 1.00 kx de (a) AM01 (b) AM02 e (c) AM03

Fonte: Os autores (2019).

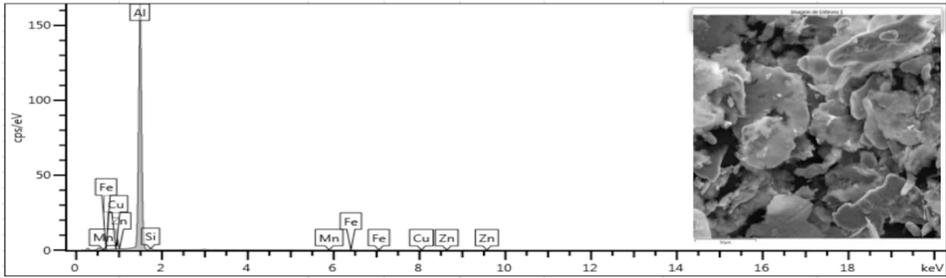


Figura 5. EDS liga AA8011 (AM01).

Fonte: Os autores (2019).

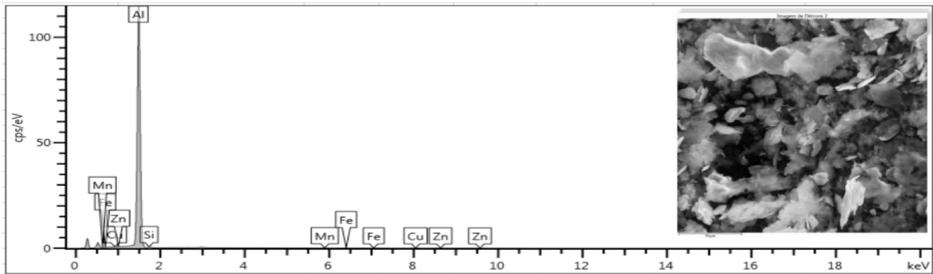


Figura 6. EDS liga AA8011 (AM02).

Fonte: Os autores (2019).

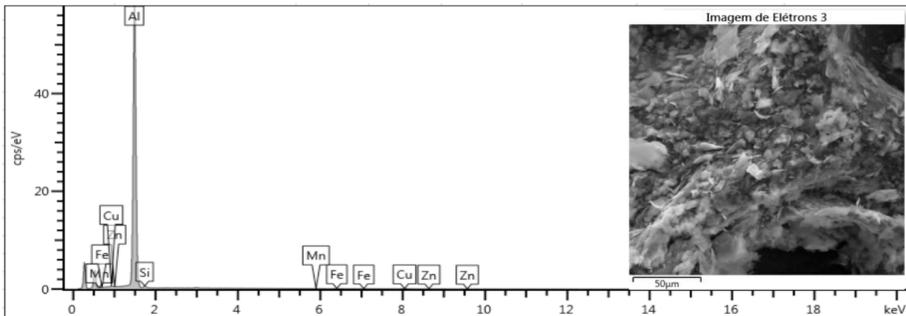


Figura 7. EDS liga AA8011 (AM03).

Fonte: Os autores (2019).

Pela observação da curva de distribuição de frequência, foi identificada uma distribuição unimodal, característica que indica que os pós podem ser utilizados para a Metalurgia do Pó. Também se observa que há um deslocamento para a esquerda o que mostra a diminuição de diâmetro da partícula dos pós que decresce a cada aumento do tempo de moagem, como pode ser confirmado pelos valores de diâmetro mediano - D50,

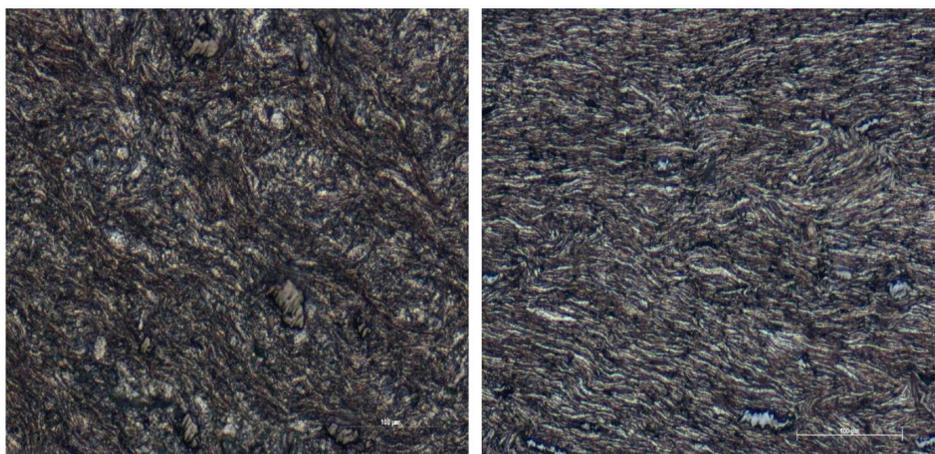
apresentado no Tabela 3. Essa diminuição do tamanho mediano das partículas, indica que estas ficam cada vez mais finas, demonstrando que o tempo de moagem influencia no processo.

Amostra	Tempo de moagem	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)
AM01	30 min	20,336	57,182	122,905
AM02	60 min	8,908	26,818	62,302
AM03 AM04	120 min	5,910	20,438	53,678

Tabela 3. Distribuição das partículas de pó.

Fonte: Os autores (2019).

A Figura 8 apresenta o resultado da MO na amostra sinterizada (AM03) da liga de alumínio AA8011, em sua seção superficial (S) e seção transversal (Ts) no tempo de moagem de 120 minutos com aumento de 200x. A Figura 9 apresenta o resultado da MO na amostra extrudada (AM04) em sua superfície transversal (T) e seção Longitudinal (L). Observando as imagens, a morfologia de ambas as amostras se apresenta deformada, com contornos de grão não definidos, a presença de porosidade nas amostras e maior homogeneização da amostra extrudada. As alterações na estrutura dos grãos ocorrem pelas sucessivas soldagens e fraturas da MAE.

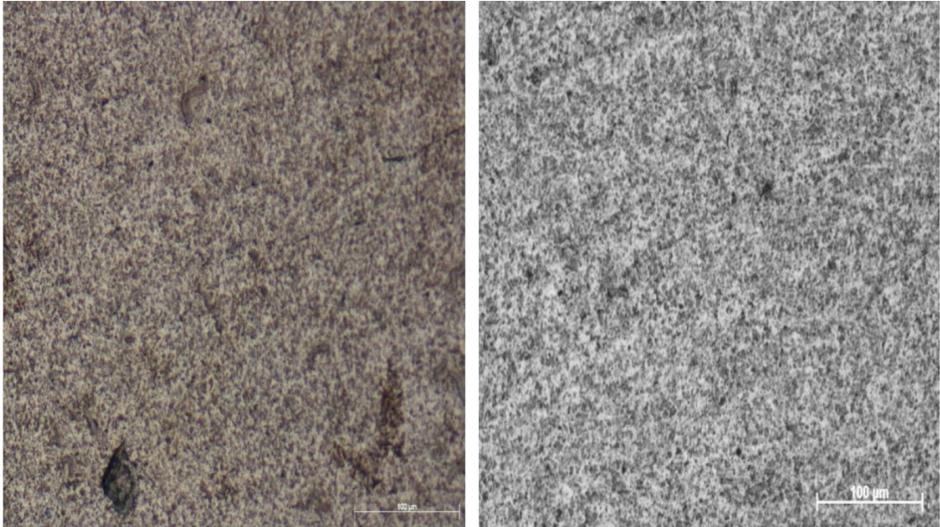


Seção superficial (S)

Seção transversal (Ts)

Figura 8. MO liga AA8011 com aumento de 200x da amostra sinterizada.

Fonte: Os autores (2019).



Seção longitudinal (L)

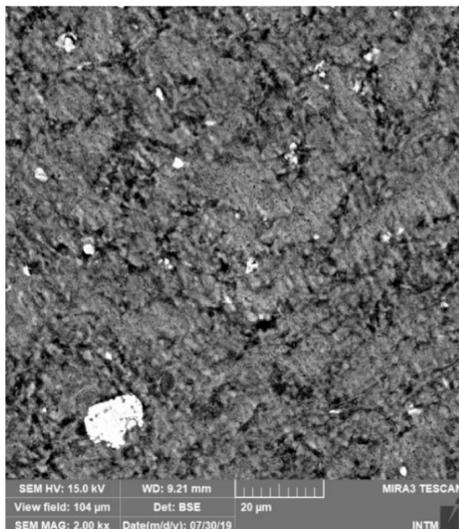
Superfície transversal (T)

Figura 9. MO liga AA8011 com aumento de 200x da amostra extrudada.

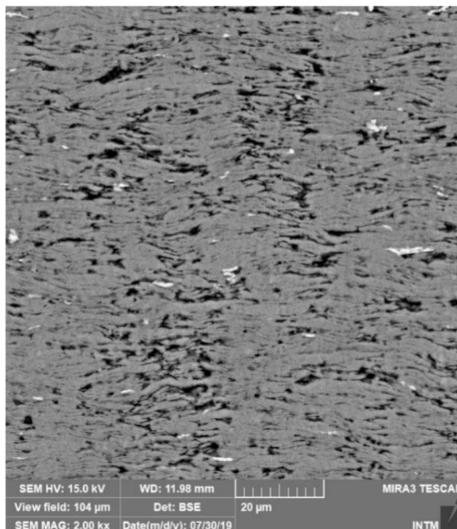
Fonte: Os autores (2019).

A Figura 10 apresenta os resultados da MEV da amostra sinterizada em suas seções superficiais (S) e transversais (Ts) no tempo de moagem de 120 minutos e aumento de 2.00kx. A Figura 11 apresenta MEV e EDS da amostra sinterizada. A Figura 12 apresenta os resultados da MEV da amostra extrudada em sua superfície transversal (T) e seção Longitudinal (L) no tempo de moagem de 120 minutos e aumento de 2.00kx. A Figura 13 apresenta MEV e EDS da amostra extrudada, cujo círculo vermelho indica os precipitados e a seta amarela a direção da extrusão.

Em nenhuma das amostras na análise da MEV e EDS apareceram elementos que não pertenciam às ligas confirmando que os pós não sofreram contaminação. Apenas apresentando precipitados de $AlFeSi$ e $AlSi$, com a coloração mais clara para o precipitado ternário e mais opaca para o precipitado binário.



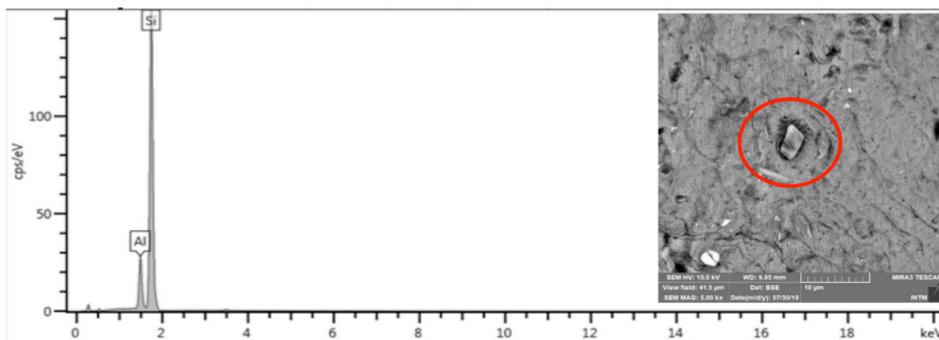
Seção Superficial (S)



Seção Transversal (Ts)

Figura 10. MEV com aumento de 2.00 kx da amostra sinterizada.

Fonte: Os autores (2019).

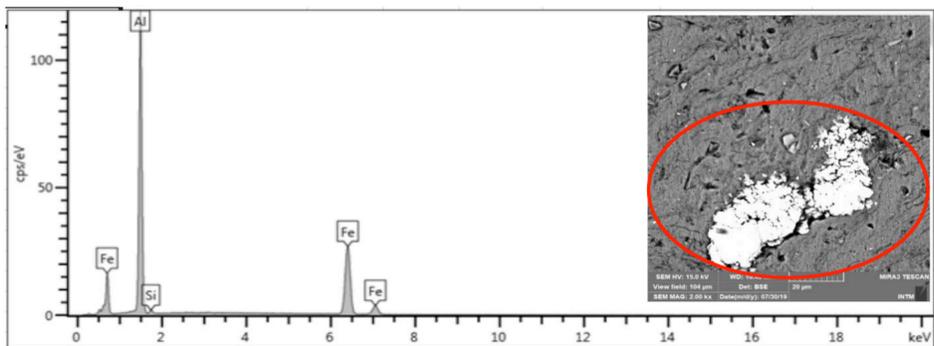


AlSi

Figura 11. MEV e EDS dos precipitados da amostra sinterizada.

Fonte: Os autores (2019).

(continuação)

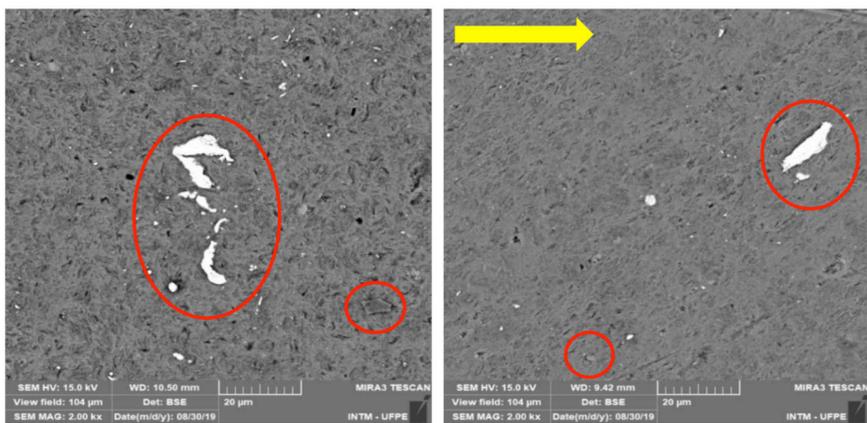


AlFeSi

Figura 11. MEV e EDS dos precipitados da amostra sinterizada.

Fonte: Os autores (2019).

Conforme Ferguson e Roberts (1998), a extrusão produz uma melhor densificação no material e confere uma distribuição longitudinal e transversal uniforme da fase dispersa. A extrusão é o principal método de densificação na produção de metais através da MAE baseada na MP como meio de produzir uma distribuição uniforme das fases do material.



Superfície transversal (T)

Seção longitudinal (L)

Figura 12. MEV com aumento de 2.00 kx amostra extrudada.

Fonte: Os autores (2019).

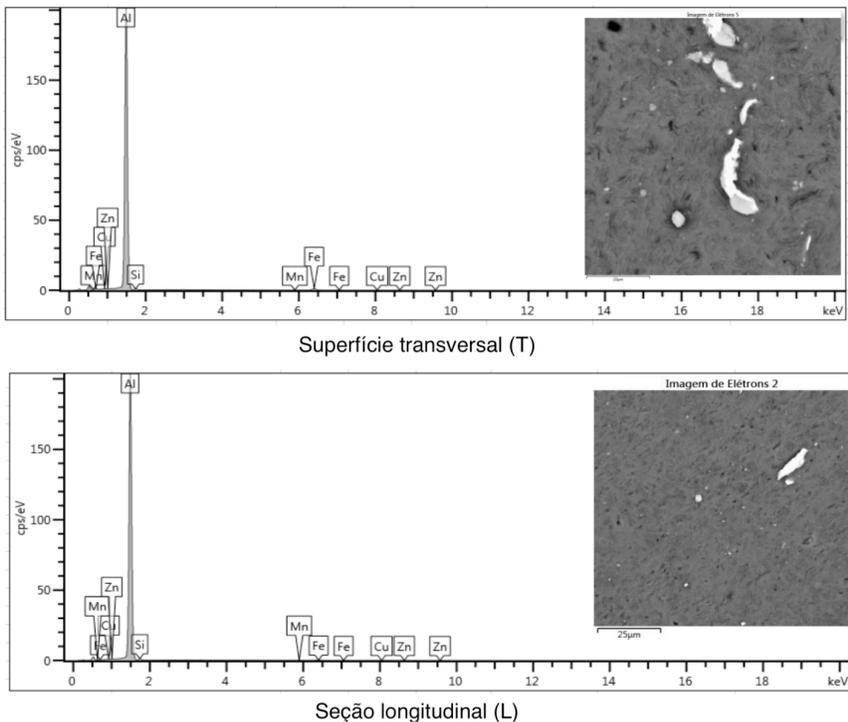


Figura 13. MEV e EDS dos precipitados da amostra extrudada.

Fonte: Os autores (2019).

A Tabela 4 apresenta a média e o desvio padrão para a microdureza obtido das amostras da liga AA8011 sinterizada (AM03) em suas seções superficiais (S) e transversais (Ts), e extrudada (AM04) nos cortes das seções longitudinal (L) e superfície transversal (T).

Liga AA8011	AM03 (S)	AM03 (Ts)	AM04 (L)	AM04 (T)
Média (HV)	73,80	55,68	93,22	90,10
Desvio Padrão	14,73	6,53	4,74	1,38

Tabela 4. Médias e desvios padrões dos valores de microdureza Vickers das amostras sinterizada e extrudada.

Fonte: Os autores (2019).

Segundo Conforme Ferguson e Roberts (1998), a fina camada protetora de óxido (alumina – Al_2O_3) que envolve as partículas de pó é facilmente quebrada na extrusão. A microdureza da amostra extrudada para um tempo de moagem de 120 minutos obteve valores maiores que os da amostra sinterizada. Isso se deve ao fato de que a camada de

alumina poder ser quebrada na extrusão, o que provoca uma melhoria na densificação do material. A figura 14 apresenta as microdureza das amostras.

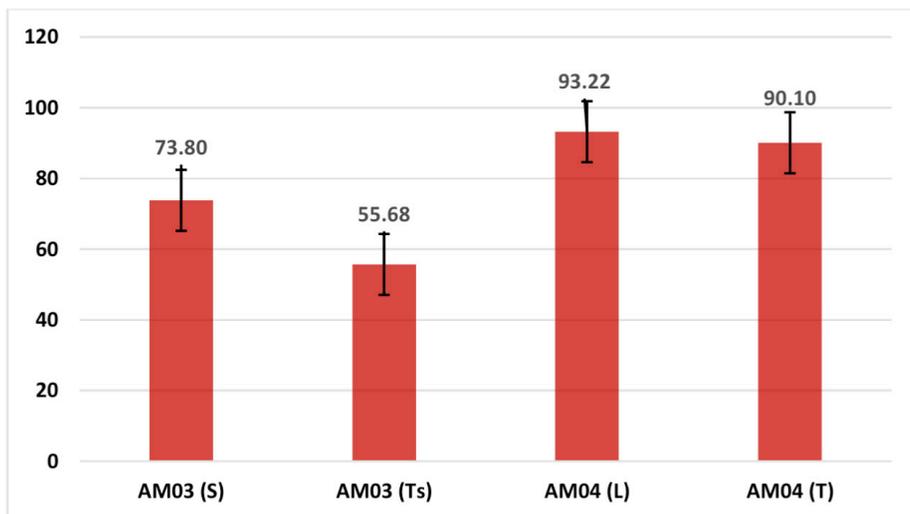


Figura 14. Microdureza da amostra sinterizada (AM03) e extrudada (AM04).

Fonte: Os autores (2019).

4 | CONCLUSÕES

Os achados experimentais sobre o desenvolvimento apresentaram a morfologia dos pós elementares com formas irregulares ou arredondadas. Por meio do ensaio de granulometria, verificou-se a diminuição do tamanho das partículas dos pós à medida que o tempo de moagem aumenta. Observou-se nas imagens do MO e MEV da amostra sinterizada e da extrudada, uma estrutura deformada em que foi identificado pela análise dos EDS, precipitado ternário (AlFeSi) e binário (AlSi). Na imagem da seção transversal da amostra sinterizada e seção longitudinal da amostra extrudada fica evidenciada a formação de lamelas perpendiculares à direção da compactação. A análise das imagens do MO e principalmente do MEV da amostra sinterizada mostra uma porosidade maior e uma densificação menor que a porosidade e densificação da amostra extrudada. A amostra extrudada apresenta melhor homogeneização que a sinterizada o que melhora a resistência dos materiais.

REFERÊNCIAS

ASM Handbook. **Properties and Selection: Non Ferrous Alloys and Special-Purpose Materials**, Vol 2, 1990

BARBOSA, CÁSSIO. **Metais não Ferrosos e suas Ligas: Microestrutura, Propriedades e Aplicações**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda, 2014.

CHIAVERINI, VICENTE. **Tecnologia mecânica: processo de fabricação e tratamento**. 2. ed. São Paulo: MacGraw-Hill, 1986. v. 2.

COUTINHO, TELMO DE AZEVEDO. **Metalografia de Não-Ferrosos**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1980.

CUNGUANG CHEN; LEICHEN GUO; JI LUO; JUNJIE HAO; ZHIMENG GUO; VOLINSK, ALEX A. **Aluminum powder size and microstructure effects on properties of boron nitride reinforced aluminum matrix composites fabricated by semi-solid powder metallurgy**. *Materials Science & Engineering A*, 646, pp. 306–314, 2015.

FERGUSON, B. L.; ROBERTS, P. R. **Extrusion of Metal Powders**. *In: ASM Handbook Committee, Vol. 7, Powder Metal Technologies, and Applications*, 1998.

MEIGNAMOORTHY, M.; RAVICHANDRAW, A. **Synthesis, properties and microstructure of sintered and hot extruded boron carbide reinforced AA8079 (Al-Cu-Fe-Si-Zn) matrix composites**. *Materials Research Express*, 2018.

MEIGNAMOORTHY, M.; RAVICHANDRAW, A.; ELMARIUNG, A. **Effect of Sintering Temperature on the Microstructure and Forming Behavior of AA8079 (Al-Cu-Fe-Si-Zn)**. *Advances in Manufacturing Technology*, pp. 607 – 613, 2019.

TORRALBA, J.M., COSTA, C.E., VELASCO, F. P/M **Aluminum Matrix Composites: Na Overview**. *Journal of Materials Processing Technology*, pp. 203 – 206, 2003.

SHACKELFORD, JAMES F. **Ciência dos Materiais**. 6ª edição, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

ÍNDICE REMISSIVO

A

AA8011 96, 97, 98, 101, 102, 103, 104, 105, 108
Aço Inoxidável 49, 50, 53, 54, 58, 59
Aeração 184, 185, 186, 187, 190, 192
Alimentação 115, 120, 122, 249, 251, 300, 301, 302, 303
Análise de Investimento 255
Animais 300, 301, 306
Ar Condicionado 175, 178, 181, 202, 203, 204, 238
Automação e Controle 234
Automação Industrial 234, 243, 268
Automação Residencial 238, 241, 243, 300, 306

B

Bananeira 1, 2, 3, 15, 16
Bioenergia 19
Biomassa 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 30, 238
Briquetes 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31

C

Carga Térmica 54, 175, 177, 178, 193, 195, 197, 199, 200, 201, 202, 203, 282
Catia V5 211, 212, 220, 222, 224
Climatização 187, 193, 194, 238, 239, 242, 244
Compósito 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 249
Conforto 209, 300
Conforto Térmico 193, 194, 195, 199, 201, 202, 204, 205, 206, 209, 210
Controle 6, 13, 112, 128, 166, 171, 173, 188, 207, 210, 234, 236, 237, 238, 240, 241, 242, 243, 244, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 282, 283, 302, 303
Corrosão Intergranular 49, 50, 51, 54, 55, 58, 59
Custos 2, 18, 20, 61, 97, 111, 112, 113, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 151, 176, 234, 255, 256, 257, 262, 263

E

Educação 1, 18, 30, 165, 166, 173, 174, 204, 245, 247, 253, 255, 300
Eficiência 114, 116, 178, 180, 181, 190, 196, 234, 235, 236, 237, 238, 242, 243, 244

Eficiência Energética 18, 175, 177, 178, 181, 182, 183, 184, 196, 204, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244

Elementos Finitos 142, 143, 144, 148, 149

Energia 61, 76, 94, 98, 100, 120, 155, 178, 183, 189, 235, 236, 243, 245, 254, 257, 266, 267, 306

Energia Solar Fotovoltaica 245, 246, 254

Engenharia Mecânica 17, 49, 77, 95, 96, 111, 148, 150, 165, 166, 174, 182, 184, 192, 307

Ergonomia 193, 204, 211, 212, 213, 215, 220, 232

Extrusão 96, 97, 98, 100, 105, 107, 108, 109

F

Fase Sigma 49, 50, 51, 53, 56

Fibra Natural 1

Fibra Vegetal 1, 2

I

Índice de Calor 205, 206, 207, 208

Inteligência Artificial 150, 152, 154, 159, 237, 268, 283

L

Laser 60, 61, 78, 79, 96, 97, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140

Liga AA7009 78

Liga AA7013 60

M

Metalurgia do Pó 60, 61, 62, 71, 76, 77, 78, 79, 90, 94, 95, 96, 97, 98, 103

Metrologia 165, 166, 169, 170, 173, 174, 177, 183

Moagem de Alta Energia 60, 61, 62, 63, 66, 67, 68, 70, 71, 73, 74, 76, 78, 79, 80, 83, 84, 86, 89, 91, 92, 94, 96, 98, 100

O

Ônibus 205, 206

P

Piaçava 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30

Propulsão de Embarcações 245, 246

R

Redes Neurais 150, 152, 237, 240, 243, 244, 268, 269, 272, 276, 282, 283

Refrigerador de Grãos 184, 186

Resíduo 19, 30, 54

S

Sistemas Fotovoltaicos 255, 265, 266, 267

Soldagem 61, 62, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 307

Sustentabilidade 175, 234, 245, 253

T

Temperatura de Corte 142, 148, 152

Temperatura do Ar 184, 189, 199, 200, 205, 206, 207, 208

Texturização 126, 128, 129, 130, 139

Torneamento 126, 130, 133, 135, 136, 139, 148, 150, 152, 156, 161

Tubos Canadianos 184, 186, 192

Tubulações Industriais 111, 112, 119

U

Umidade Relativa do Ar 6, 195, 205, 206, 207, 208

Usinagem 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 150, 151, 154, 156, 161

Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas
e motores no cotidiano do homem

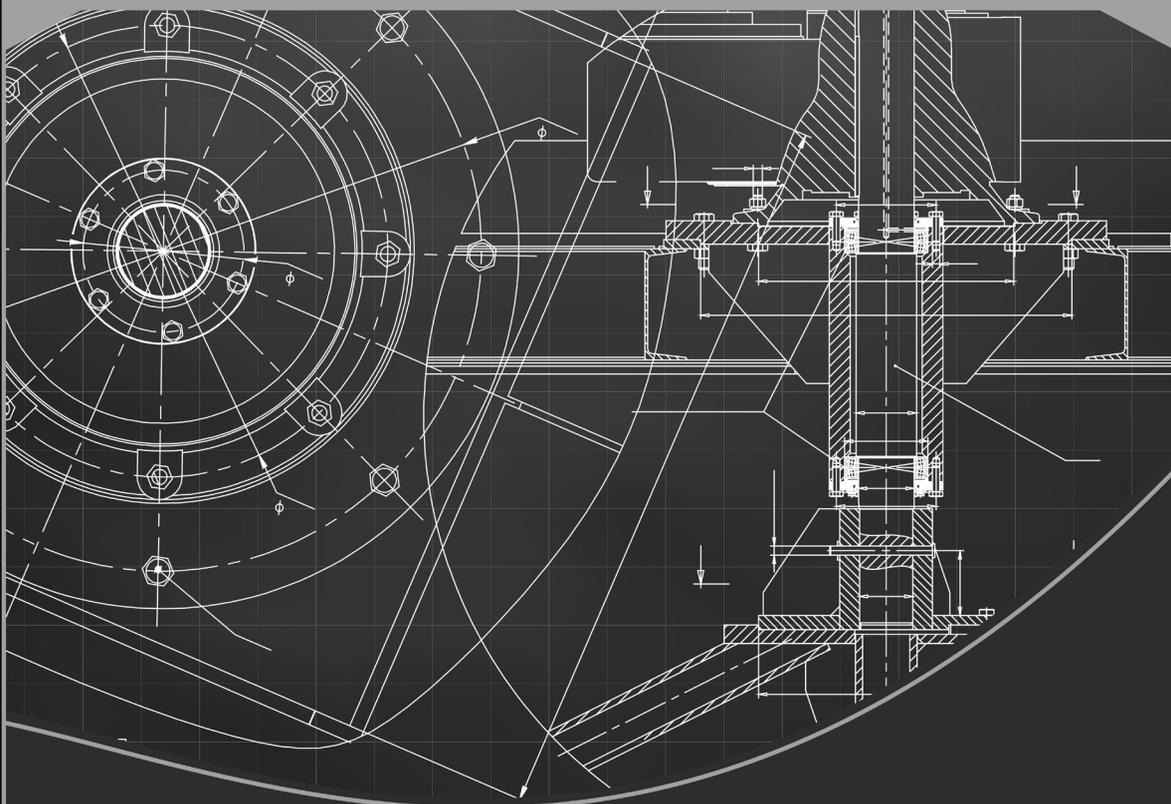
2

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Atena
Editora

Ano 2021

Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas
e motores no cotidiano do homem

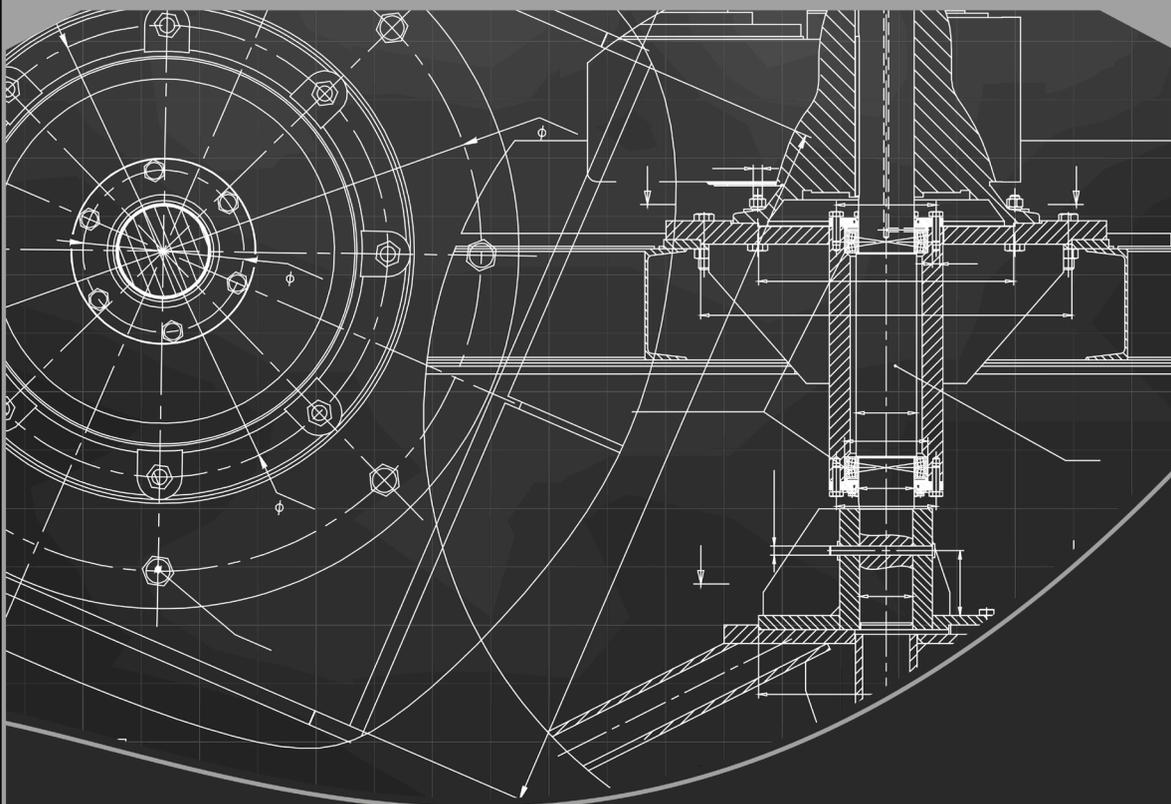
2

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 @atenaeditora

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Atena
Editora

Ano 2021